



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DINDING  
DAN FLUKTUASI AKIBAT PEMASANGAN  
TURBIN HIDROKINETIK PADA ALIRAN KANAL  
TERBUKA**

**LUTHFA SYABANIA NUARI  
NRP. 02311440000122**

**Dosen Pembimbing :  
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**





**FINAL PROJECT - TF 141581**

**ANALYSIS OF FLOW CHARACTERISTICS ON  
WALLS AND FLUCTUATION AS A RESULT OF  
INSTALLATION OF HYDROKINETIC TURBINE IN  
OPEN CHANNEL FLOW**

**LUTHFA SYABANIA NUARI  
NRP. 02311440000122**

**Supervisors :  
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Luthfa Syabania Nuari  
NRP : 02311440000122  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Karakteristik Aliran Dinding Dan Fluktuasi Akibat Pemasangan Turbin Hidrokinetik Pada Aliran Kanal Terbuka” adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2018  
Yang membuat pernyataan,



Luthfa Syabania Nuari  
NRP. 02311440000122



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DINDING DAN  
FLUKTUASI AKIBAT PEMASANGAN TURBIN  
HIDROKINETIK PADA ALIRAN KANAL TERBUKA**

Oleh:

**Luthfa Syabania Nuari**  
NRP. 0231144000122

Surabaya, 20 Juli 2018

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



**Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**  
NIP. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



**Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**  
NIP. 19780902 200312 1 002



**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DINDING DAN  
FLUKTUASI AKIBAT PEMASANGAN TURBIN  
HIDROKINETIK PADA ALIRAN KANAL TERBUKA**

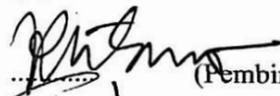
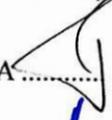
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**LUTHFA SYABANIA NUARI**  
**NRP. 02311440000122**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |   |                                |   |               |
|---|--------------------------------|---|---------------|
| 1 | Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T   |    | (Pembimbing)  |
| 2 | Dr. Suyanto, S.T., M.T         |   | (Penguji I)   |
| 3 | Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA |   | (Penguji II)  |
| 4 | Detak Yan Pratama, S.T., MSc   |  | (Penguji III) |

**SURABAYA  
JULI, 2018**



# ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DINDING DAN FLUKTUASI AKIBAT PEMASANGAN TURBIN HIDROKINETIK PADA ALIRAN KANAL TERBUKA

Nama : Luthfa Syabania Nuari  
NRP : 0231144000122  
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T

## Abstrak

PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) merupakan perusahaan multitanbang yang berpusat di Brasil, yang memegang visi peduli terhadap kelangsungan alam. Di wilayah Sulawesi yang telah ditentukan untuk melakukan eksplorasi, terdapat sumber tenaga alternatif untuk menciptakan energi yang ramah lingkungan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dari tiga sumber danau. Pada kanal Larona yang menghubungkan sumber danau dan PLTA yang lain, terdapat potensi yang dapat digunakan untuk dipasang turbin hidrokinetik. Jenis turbin yang digunakan pada perairan adalah *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT) dan *horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT). Analisa wake, *blockage ratio* dan fluktuasi yang terjadi, sangat penting untuk tujuan efek yang terjadi di dinding akibat pemasangan turbin. Ketika *blockage ratio* tinggi akan mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran di dinding kanal dan peningkatan gaya drag pada turbin. Penelitian ini menggunakan komputasi fluida dinamik untuk mensimulasikan. Data validasi disesuaikan dengan nilai kecepatan sesuai pengukuran. Itu dianggap valid ketika selisih yang didapat kurang dari 10%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai fluktuasi ketinggian permukaan air dipengaruhi oleh seberapa besar energi yang diekstrak atau sapuan turbin dan semakin mengarah ke dinding peningkatannya semakin menurun. Fluktuasi tertinggi sebesar 0,288m dan hal ini tidak menimbulkan bahaya karena peningkatan ketinggian maksimum yang diizinkan setelah dipasang turbin adalah 0.34 m. Pemasangan turbin juga akan mengakibatkan wake (olakan) dibelakang turbin. Selain itu juga

berpengaruh pada peningkatan kecepatan aliran dan peningkatan tekanan di dinding. Pemasangan turbin jenis VAHT mengakibatkan ukuran wake lebih panjang dan berbentuk asimetris daripada pemasangan jenis turbin HAHT. Tekanan ke arah dinding akibat pemasangan turbin juga meningkat. Peningkatan paling besar terjadi pada pemasangan VAHT di kanal larona 53 sebesar 2960 Pa. Peningkatan kecepatan yang berada di samping turbin juga meningkat dengan nilai terbesar 1.7 m/s pada pemasangan turbin HAHT di kanal larona 53 pada sisi kiri aliran.

**Kata kunci :** dinding kanal, VAHT, HAHT

# **ANALYSIS OF FLOW CHARACTERISTICS ON WALLS AND FLUCTUATION AS A RESULT OF INSTALLATION OF HYDROKINETIC TURBINE IN OPEN CHANNEL FLOW**

**Name** : *Luthfa Syabania Nuari*  
**NRP** : *02311440000122*  
**Departement** : *Engineering Physics, FTI-ITS*  
**Supervisor** : *Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T*

## **Abstract**

*PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) is a multinational company based in Brazil, which is a vision of the natural awareness. In the Sulawesi region which has the right to explore, there are alternative experts to create environmentally friendly energy that is Power Plant (PLTA) from three sources. In Larona canals connecting lakes and other hydropower plants, there is a potential that can be used for hydrokinetic turbines. This type of turbine basically are vertical axis hydrokinetic turbine (VAHT) and horizontal axis hydrokinetic turbine (HAHT). The wake, blockage ratio and fluctuation analysis are important for the effects of turbine walls. When the high blockage ratio will produce flow velocity in the channel wall and drag force on the turbine. This study uses computational fluid dynamic to simulate. Validation data is adjusted to the measured velocity value. It considered valid when is different less than 10%. The simulation results show that the fluctuation of the water level is influenced by how much energy is extracted or the sweep of the turbine and progressively decreasing towards the wall. The highest fluctuation is 0.288m and this does not a hazard because the maximum permissible height elevation after turbines is 0.34 m. Installation of turbines will also result in wake behind the turbine. It also has an effect on increasing flow rate and increasing pressure on the wall. Installation of VAHT type turbines resulted wake longer and asymmetrical shapes than the installation of HAHT turbine types. Pressure towards the wall*

*due to turbine installation also increases. The greatest increase occurred in the installation of VAHT in larona channel 53 by 2960 Pa. The increased velocity at the side of the turbine also increases with the largest value of 1.7 m/s in the installation of the HAHT turbine in the Larona channel 53 on the left side of the flow.*

***Keywords :*** *walls of channel, VAHT, HAHT*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Karakteristik Aliran Dinding Dan Fluktuasi Akibat Pemasangan Turbin Hidrokinetik Pada Aliran Kanal Terbuka**”

Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, PhD selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS, terimakasih atas segala dukungan dan fasilitas yang telah diberikan
2. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, terimakasih atas segala dukungan, dan fasilitas selama ini
3. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT, selaku dosen pembimbing tugas akhir terimakasih atas segala dukungan, bimbingan, motivasi, nasihat, dan segenap pembelajaran selama ini
4. Bapak Dr. Imam Abadi, ST.MT selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengayomi penulis
5. Keluarga saya, Bapak Sobari, Ibu Nur Hariyani, Kakak Mursid Lafaliana Nuari dan Desi Trisiwiyanti. Terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, doa, dan kepercayaan yang selalu diberikan kepada penulis
6. Teman dekat penulis Fajar Ardian Sinatriya yang telah memberikan doa dan motivasi kepada penulis.
7. Teman-teman terdekat penulis, yaitu Anna, Kiki, Evi, Rani, dan Sartika, terimakasih atas segala dukungan, hiburan, doa, dan kebahagiaan untuk penulis
8. Teman-teman perjuangan KSE 2014, Aryo, Irawan, Hafizh, Yugi, Fahmi, Zarwan, Husain, Syahrul, dan Evi
9. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2014
10. Teman-teman TAwan dan TAwati Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan

11. Teman-teman Asisten Lakone tercinta, Ali, Iqbal, Iyus, Ghina, Sovi, Hilya, Kloro, Shafly, Rodzan, Aryeshah, Dije, Putri, Qori', dan Nuril. Terimakasih atas segala dukungan dan kenangannya
12. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademika Departemen Teknik Fisika ITS, terimakasih atas kerjasamanya
13. Semua pihak yang tidak sapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala doa dan bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 20 Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xxvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Energi Hidrokinetik.....	7
2.2. Turbin hidrokinetik.....	9
2.3. Konsep Lift dan Drag.....	11
2.4. Aliran Kanal Terbuka.....	13
2.4.1Pertimbangan Energi.....	15
2.4.2Aliran Kanal dengan Kedalaman Seragam.....	16
2.4.3Aliran Yang Berubah.....	16
2.5. Aliran pada dinding.....	17
2.6. Fluktuasi permukaan bebas.....	19
2.7. Computational Fluid Dynamic (CFD).....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2. Pengambilan data primer dan data sekunder.....	24
3.3. Pembuatan Geometri.....	28
3.4. Meshing.....	29
3.5. Pre-processing dan processing.....	31
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>35</b>

4.1. Validasi Hasil Penelitian .....	35
4.2. Fluktuasi pada <i>Vertical Axis Hydrokinetic Turbine</i> (VAHT) .....	38
4.3. Fluktuasi pada <i>Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine</i> (HAHT).....	43
4.4. Profil Wake Pada <i>Vertical Axis Hydrokinetic Turbine</i> (VAHT).....	47
4.5. Profil Wake Pada <i>Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine</i> (HAHT).....	49
4.6. Blokage Effect Pada <i>Vertical Axis Hydrokinetic Turbine</i> (VAHT).....	51
4.6.1. Distribusi Kecepatan .....	52
4.6.2. Distribusi Tekanan.....	53
4.7. Blokage Effect Pada <i>Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine</i> (HAHT).....	62
4.7.1. Distribusi Kecepatan .....	62
4.7.2. Distribusi Tekanan .....	65
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>71</b>
5.1. Kesimpulan .....	71
5.2. Saran.....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b>	Sungai Larona .....	2
<b>Gambar 2. 1</b>	Jumlah Energi yang dimanfaatkan di Indonesia (International Energy Agency, 2018) .....	7
<b>Gambar 2. 2</b>	Hidrokinetik turbin verikal axis hidrokinetik turbine (VAHT) (Pham, 2016).....	9
<b>Gambar 2. 3</b>	Hidrokinetik turbinhorizontal axis hidrokinetik turbine (HAHT) (Pham, 2016) .....	10
<b>Gambar 2. 4</b>	Angle of attack turbin (Birjandi, 2012).....	12
<b>Gambar 2. 5</b>	Hubungan TSR dengan azimuth angle (Birjandi, 2012).....	12
<b>Gambar 2. 6</b>	Gaya yang bekerja pada blade (Birjandi, 2012)....	13
<b>Gambar 2. 7</b>	Kanal terbuka (Muhson, 2009) .....	14
<b>Gambar 2. 8</b>	Garis energi pada kanal terbuka (Muhson, 2009) .	15
<b>Gambar 2. 9</b>	Aliran seragam (Muhson, 2009) .....	16
<b>Gambar 2. 10</b>	Distribusi kecepatan dan tekanan akibat adanya solid blockage dan wake blockage (Deepak , 2004) .....	18
<b>Gambar 2. 11</b>	Vortex sistem yang terbentuk (Taqia, 2016).....	19
<b>Gambar 2. 12</b>	Fluktuasi yang terjadi (Yan & Deng, 2016).....	20
<b>Gambar 2. 13</b>	Struktur computational grid sekitar blade (Masoud Ghasemian, 2017).....	20
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram aliran penelitian.....	23
<b>Gambar 3. 2</b>	Penentuan lokasi pengukuran di kanal Larona Panel 24 .....	25
<b>Gambar 3. 3</b>	Penentuan lokasi pengukuran di kanal Larona Panel 53 dan 81 .....	26
<b>Gambar 3. 5</b>	Luas penampang kanal larona.....	27
<b>Gambar 3. 6</b>	Current meter digital .....	27
<b>Gambar 4. 1</b>	Profil kecepatan Kanal Larona panel 24 .....	36
<b>Gambar 4. 2</b>	Profil kecepatan kanal Larona panel 53 dan 81 ....	37
<b>Gambar 4. 3</b>	Volume fraction pada kanal larona panel 24 sebelum dipasang turbin .....	38
<b>Gambar 4. 4</b>	Volume fraction pada kanal larona panel 24 .....	39

<b>Gambar 4. 5</b>	Volume fraction pada kanal larona panel 24 sisi tengah.....	40
<b>Gambar 4. 6</b>	Volume fraction untuk larona panel 53 sisi kanan	41
<b>Gambar 4. 7</b>	Volume fraction untuk larona panel 53.....	42
<b>Gambar 4. 8</b>	Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin .....	43
<b>Gambar 4. 9</b>	Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin sisi tengah.....	44
<b>Gambar 4. 10</b>	Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin.....	46
<b>Gambar 4. 11</b>	Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin sisi tengah.....	47
<b>Gambar 4. 12</b>	Distribusi kecepatan untuk panel larona 24 .....	48
<b>Gambar 4. 13</b>	Distribusi kecepatan pada kanal larona 53 .....	49
<b>Gambar 4. 14</b>	Kecepatan untuk larona panel 24 .....	50
<b>Gambar 4. 15</b>	Kecepatan untuk larona panel 53 .....	51
<b>Gambar 4. 16</b>	Distribusi kecepatan untuk larona panel 24 .....	52
<b>Gambar 4. 17</b>	Distribusi kecepatan untuk larona panel 53 .....	53
<b>Gambar 4. 18</b>	Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin.....	54
<b>Gambar 4. 19</b>	Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin.....	55
<b>Gambar 4. 20</b>	Distribusi tekanan untuk larona panel 24.....	56
<b>Gambar 4. 21</b>	Distribusi tekanan untuk larona panel 24 tampak samping kiri .....	57
<b>Gambar 4. 22</b>	Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53 ..	58
<b>Gambar 4. 23</b>	Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53 ..	59
<b>Gambar 4. 24</b>	Distribusi tekanan kanal larona 53 .....	60
<b>Gambar 4. 25</b>	Distribusi tekanan kanal larona panel 53 tampak samping kiri .....	61
<b>Gambar 4. 26</b>	Kecepatan untuk larona panel 24 .....	62
<b>Gambar 4. 27</b>	Kecepatan untuk larona panel 53 .....	63
<b>Gambar 4. 28</b>	Peningkatan kecepatan .....	64
<b>Gambar 4. 29</b>	Distribusi tekanan untuk larona panel 24.....	65
<b>Gambar 4. 30</b>	Distribusi tekanan untuk larona panel 24 tampak atas.....	66

**Gambar 4. 31** Distribusi tekanan untuk larona panel 53 sisi  
kanan .....67

**Gambar 4. 32** Distribusi tekanan untuk larona panel 53.....68

**Gambar 4. 33** Peningkatan tekanan ..... 70

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4. 1</b> Data Validasi .....	35
<b>Tabel 4. 2</b> Kenaikan level untuk kanal larona panel 24.....	40
<b>Tabel 4. 3</b> Kenaikan level untuk kanal larona panel 53.....	41
<b>Tabel 4. 4</b> Kenaikan level untuk kanal larona panel 24.....	45
<b>Tabel 4. 5</b> Kenaikan level untuk kanal larona panel 53.....	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR SIMBOL

$Q$	Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$v$	Kecepatan aliran ( $\text{m/s}$ )
$A$	Luas penampang ( $\text{m}^2$ )
$P$	Daya yang dihasilkan (watt)
$P_t$	Daya yang dihasilkan rotor turbin (watt)
$T$	Torsi ( $\text{N.m}$ )
$F_T$	Gaya yang dihasilkan oleh rotor turbin ( $\text{N}$ )
$r$	Jari-jari turbin ( $\text{m}$ )
$\omega$	Kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )
$D$	Diameter turbin ( $\text{m}$ )
$H$	Tinggi turbin atau span ( $\text{m}$ )
$C_p$	<i>Coefficient Performance</i>
$C_T$	<i>Coefficient of torque</i>
$\theta$	<i>Azimuth angle</i>
$\alpha_p$	sudut pitch
$\alpha$	<i>Angle of attack</i>
$\lambda$	<i>Tip speed ratio</i>
$C_L$	<i>Coefficient of Lift</i>
$C_D$	<i>Coefficient of Drag</i>
$F_L$	Gaya <i>Lift</i> (angkat)
$F_D$	Gaya <i>Drag</i> (hambat)
$c$	Chord
$S_0$	Slope
$h_L$	Head Loss
$\varepsilon$	<i>Blokage ratio</i>
$x$	Koordinat sumbu x
$y$	Koordinat sumbu y
$z$	Koordinat sumbu z
$u$	Komponen kecepatan sumbu x ( $\text{m/s}$ )
$v$	Komponen kecepatan sumbu y ( $\text{m/s}$ )

$w$	Komponen kecepatan sumbu z (m/s)
$t$	Waktu (sekon)
$\rho$	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )
$P$	Tekanan (Pa)
$g$	Gravitasi (m/s <sup>2</sup> )

## DAFTAR ISTILAH

cms	Satuan debit dengan singkatan <i>cubic meter per second</i>
Volume fraction	Komposisi air dan udara dengan nilai 1 menunjukkan 100% air

Halaman ini sengaja dikosongkan

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Isu mengenai krisis energi merupakan masalah yang sering diperbincangkan saat ini. Secara umum kebijakan energi nasional lebih bertumpu pada energi yang berasal dari fosil, terutama bahan bakar minyak (BBM). Sedangkan tenaga listrik tersebut termasuk ke dalam sumber daya alam tidak bisa diperbaharui. Berbagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan sudah dikembangkan. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat menunjang kebutuhan energi masyarakat Indonesia dengan peluang tinggi adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Mengingat 2/3 Indonesia merupakan wilayah perairan, maka teknologi *hydropower* merupakan salah satu teknologi yang dapat dikembangkan.

PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) merupakan perusahaan multitambang yang berpusat di Brasil, yang memegang visi peduli terhadap kelangsungan alam. Sebagai kontraktor tunggal Pemerintah Indonesia di areal Kontrak Karya (KK), memiliki hak eksklusif di beberapa wilayah yang telah ditentukan di Sulawesi untuk melakukan eksplorasi. PT Vale telah memanfaatkan teknologi yang ramah lingkungan termasuk dalam menciptakan energi bagi kebutuhan produksi melalui pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Untuk sumber tenaganya, PLTA mendapatkan dari tiga danau yang berada di Luwu Timur, yakni Matano, Mahalona, dan Towuti yang mengalirkan air melalui Sungai Larona menuju turbin dengan dibangun sebuah kanal dengan ukuran 7 kilometer. Pada kanal Larona tersebut terdapat potensi yang dapat digunakan untuk dipasang turbin hidrokinetik. (PT VALE INDONESIA, 2016).



**Gambar 1. 1** Sungai Larona

Jenis turbin yang sering digunakan pada perairan adalah *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT) dan *horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT). Jenis VAHT mempunyai efisiensi 70%, sedangkan HAHT mempunyai efisiensi 50-60%. Turbin yang akan dipasang menggunakan kedalaman maupun susunan turbin tertentu untuk memaksimalkan daya dan proses ekstraksi dari lokasi yang potensial.

Analisa wake, *blockage ratio* dan fluktuasi yang terjadi, sangat penting untuk tujuan efek yang terjadi di dinding akibat pemasangan turbin. Wake merupakan salah satu permasalahan yang perlu dianalisa ketika melakukan penelitian mengenai turbin, baik turbin angin maupun turbin air. Terkait dengan susunan susunan turbin yang optimal telah dilakukan penelitian sebelumnya dengan penyelesaian menggunakan simulasi (Septyaningrum, 2015). Pada penelitian ini menggunakan kombinasi susunan turbin *single* dan *array* untuk mengetahui profil wake di belakang turbin. Dari penelitian didapatkan bahwa wake terkonservasi karena adanya momentum dan energi antara daerah di sekitar turbin dan daerah wake ( $7,5 R$  untuk *single* turbin dan  $8,5 R$  untuk *array* turbin). Hal ini menunjukkan bahwa panjang wake *single* turbin lebih pendek daripada *array* turbin.

Metode eksperimental sering menyita waktu, mahal dan terkadang sulit untuk memecahkannya. Penyelesaian melalui metode numerik atau simulasi menjadi alternatif lain untuk memprediksi aliran pada suatu kanal. Dalam suatu kanal terbuka, turbin akan mengalami fluktuasi pada permukaan bebas. Pada tahun 2014 telah dilakukan penelitian tentang fluktuasi yang dilakukan pada aliran kanal terbuka skala laboratorium (ZHAO, 2014). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat empat jenis fluktuasi yang terjadi pada permukaan bebas. Jenis fluktuasi yang muncul adalah permukaan bidang datar, permukaan osilasi transversal, permukaan osilasi longitudinal dan permukaan gangguan lokal. Ketika nilai Reynold number kecil maka komponen kecepatan transversal juga kecil. Hasil fluktuasi permukaan dari beberapa alat pengukur gelombang menunjukkan bahwa osilasi pada arah longitudinal juga terjadi saat gelombang transversal diamati untuk mode gelombang yang berbeda.

Untuk efek dinding terhadap turbin telah dilakukan dengan variasi ukuran turbin pada penelitian tahun 2016 (Taqia, 2016). Pada penelitian ini, efek *blockage* bergantung pada *blockage ratio* dalam kanal. Ketika *blockage ratio* tinggi akan mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran di dinding kanal dan peningkatan gaya drag pada turbin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dinding dan fluktuasi yang terjadi pada dinding kanal terbuka akibat pemasangan turbin. Diharapkan pada penelitian ini akan didapatkan pengaruh yang ditimbulkan akibat pemasangan turbin di dinding kanal dan bahaya atau tidak jika turbin tersebut terpasang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disampaikan, rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana fluktuasi aliran pada kanal terbuka akibat pemasangan turbin?
2. Bagaimana efek aliran pada dinding akibat pemasangan turbin?

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan bantuan software CFD
2. Simulasi menggunakan turbin vertical arus sungai dengan *vertical axis hydrokinetic turbine* dan *horizontal axis hydrokinetic turbine* yang ada di komersial.
3. Data yang digunakan diperoleh dari PT Vale Indonesia
4. Terdapat 3 titik yang digunakan sebagai pengambilan data

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Analisa fluktuasi aliran pada kanal terbuka akibat pemasangan turbin.
2. Analisa efek aliran pada dinding akibat pemasangan turbin.

### 1.5 Sistematika Laporan

Laporan Tugas akhir ini tersusun dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang yang menunjang dilakukannya penelitian tugas akhir, rumusan masalah, batasan masalah tujuan serta sistematika penulisan laporan.

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II dijelaskan beberapa teori singkat yang mendasari penelitian tugas akhir. Beberapa teori singkat yang dijelaskan pada bab ini adalah energi hidrokinetik, turbin hidrokinetik, aliran kanal terbuka.

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian tugas akhir. Bab III juga menyajikan tahapan pembuatan simulasi (cara pembuatan geometri, meshing, preprocessing,

processing, postprocessing) serta kondisi-kondisi yang diberikan untuk menentukan boundary saat simulasi hingga diperoleh hasil yang sesuai.

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bagian ini ditampilkam proses validasi hasil simulasi dengan data primer untuk mengetahui nilai error. Selanjutnya siperoleh analisa data yang diperoleh dari hasil simulasi sesuai tujuan. Beberapa hal yang dibahas pada bab ini antara lain fluktuasi yang dihasilkan oleh turbin diberbagai titik oleh VAHT dan HAHT, profil wake dan blockage effect yang dihasilkan pada tiap variasi.

#### **BAB V PENUTUP**

Bab V merupakan bagian akhir dari bab utama dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Bab V berisikan kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian tugas akhir serta saran yang diberikan oleh peneliti. Dengan adanya saran ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih baik dan mampu memberikan dampak besar terhadap perkembangan teknologi.

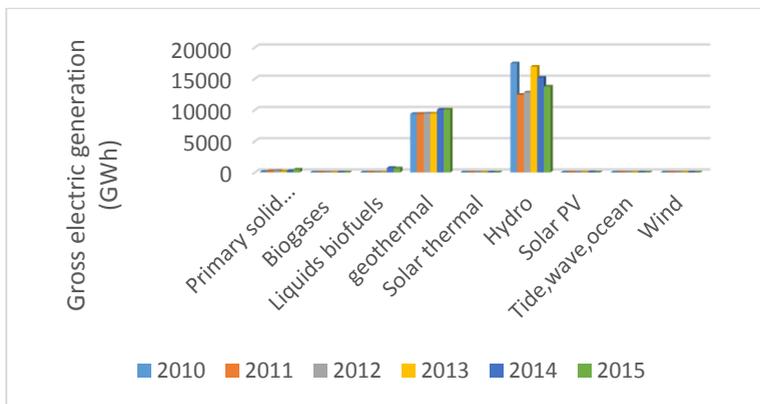
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Energi Hidrokinetik

Secara umum kebijakan energi nasional lebih bertumpu pada energi yang berasal dari fosil, terutama bahan bakar minyak (BBM). Khusus tentang penyediaan energi listrik dari kapasitas PLN yang terpasang, sebesar 72,85% energi dihasilkan dari bahan bakar fosil yang terdiri: 28,58% berasal dari pembangkit berbahan bakar gas, 25,28% dari minyak bumi, dan 18,99% berasal dari batu bara (Waluyo, 2014). Sedangkan tenaga listrik yang tersebut termasuk ke dalam sumber daya alam tidak bisa diperbaharui. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat menunjang kebutuhan energi masyarakat Indonesia dengan peluang tinggi adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Hal ini dikarenakan 2/3 wilayah di Indonesia terdiri dari perairan yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan menjadi energi tenaga air. Energi air ini biasanya memanfaatkan pada head (ketinggian), dan energi kinetik air yaitu arus sungai maupun arus laut. Namun system pembangkit yang memanfaatkan energi potensial air kurang tepat jika diterapkan pada aliran air di daerah kemiringan tanah yang sangat rendah.



**Gambar 2. 1** Jumlah Energi yang dimanfaatkan di Indonesia (International Energy Agency, 2018)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa semakin tahun mengalami peningkatan energi yang dimanfaatkan. Energi hidrokinetik merupakan energi yang mengkonversi energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran sungai, arus laut maupun *waterways* yang dapat menciptakan listrik (MJ Khan, 2009). Salah satu pengaplikasian energi hidrokinetik adalah memasang turbin hidrokinetik pada sebuah aliran sungai atau laut. Turbin hidrokinetik mengekstrak energi laut atau sungai menjadi energi listrik. Energi yang dikonversi diperoleh dari kecepatan arus sungai atau laut yang bertumbukan dengan turbin yang dipasang, sehingga energi yang dihasilkan dapat menggerakkan generator. Setelah generator ini bergerak dapat menghasilkan aliran listrik.

Persamaan (2.1) digunakan untuk menghitung debit yang mengalir dari sebuah aliran dengan prinsip kontinuitas. Persamaanya adalah sebagai berikut:

$$Q = \dot{V} = v \times A \quad (2.1)$$

Debit merupakan aliran volume dalam satuan waktu  $\dot{V}$  atau bisa dianggap sebagai suatu penampang yang mempunyai kecepatan air. Sehingga aliran masa dapat di temukan dengan mengalikan luas penampang, kecepatan air dan massa jenis air. Dengan demikian ketika persamaan energi kinetik yang telah diketahui adalah setengah dari perkalian massa dan kuadrat kecepatan, sehingga didapatkan persamaan (2.2)

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (2.2)$$

Untuk daya yang dihasilkan oleh rotor tubin diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = r \times \sum F_T \quad (2.3)$$

$$P_t = \sum F_T \times v = \frac{T}{r} \times r \times \omega = T \times \omega \quad (2.4)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan bahwa daya yang diekstrak oleh turbin bergantung dengan torsi, gaya serta ukuran jari-jari yang dimiliki.

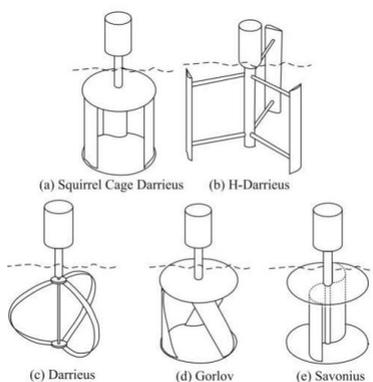
## 2.2. Turbin hidrokinetik

Turbin hidrokinetik mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan turbin angin. Persamaan power yang diekstrak dari air sesuai dengan persamaan (2.2). Luas penampang yang digunakan adalah luas sapuan turbin yang berputar. Berikut persamaan (2.5) yang digunakan untuk turbin jenis *vertical axis* dan persamaan (2.6) untuk *horizontal axis* adalah

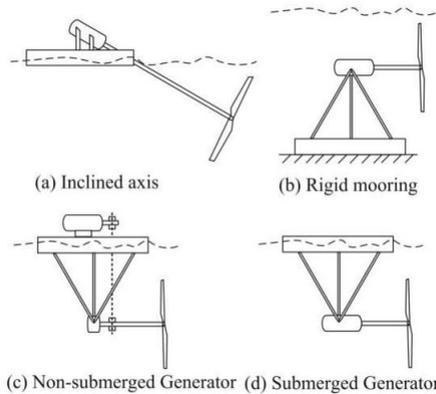
$$A = \pi DH \quad (2.5)$$

$$A = 2\pi r^2 \quad (2.6)$$

Berdasarkan klasifikasi turbin secara dasar dapat dibagi menjadi 2 yaitu *horizontal axis* dan *vertical axis*. Selain itu ada turbin yang memanfaatkan gaya *drag* dan gaya *lift*. Turbin yang memanfaatkan gaya *drag* dapat menurunkan 25% efisiensi energi yang dikonversi. Akan tetapi turbin kinetik akan mencapai 35% ketika memanfaatkan gaya *lift* ke torsi generator (Birjandi, 2012).



**Gambar 2. 2** Jenis turbin *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT) (Pham, 2016)



**Gambar 2.3** Jenis turbin *horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT) (Pham, 2016)

Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan perbedaan bentuk dari jenis turbin *Horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT) dan *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT). Turbin ini dibedakan berdasarkan arah aliran air terhadap arah putaran turbin. Untuk VAHT arah putaran turbin searah dengan aliran air, sedangkan untuk HAHT tegak lurus dengan aliran air. Cara mengekstrak energi dari air dengan mereduksi kecepatan aliran. Akibat kecepatan aliran air menyebabkan blade berputar dengan kecepatan sudut tertentu, maka resultan dari kecepatan aliran tersebut menghasilkan gaya hidrodinamis berupa gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*). Untuk mendorong turbin bergerak maka torsi akibat gaya angkat yang dihasilkan harus lebih besar dari torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat.

Parameter yang biasanya digunakan untuk mengukur performansi turbin adalah *coefficient performance* ( $C_p$ ) yaitu perbandingan daya keluaran dengan daya akibat aliran. Selain itu ada juga *coefficient of torque* ( $C_t$ ) yang menunjukkan perbandingan torsi sebenarnya dan teori seperti pada persamaan (2.7) dan (2.8). Persamaan yang digunakan sebagai berikut

$$C_p = \frac{P_T}{0.5\rho Av^2} \quad (2.7)$$

$$C_T = \frac{T}{0.5\rho Av^2} \quad (2.8)$$

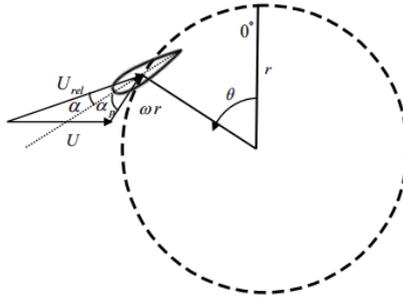
Ada Teoritical limit pada persentase dari energi kinetik yang dapat dipindahkan dari aliran fluida ke energi kinetik maksimum yang tersedia di fluida. Teori itu dikenal dengan nama Betz Limit. Bets Limit 59,3% untuk *single* dan *open actuator*. Untuk skala sungai yang kecil, turbin dapat mengalami *loses* mencapai 10-25% sehingga efisiensi yang ada sekitar 35% (Guney, 2011). Densitas untuk air sungai adalah 1000 kg/m<sup>3</sup> dan air laut adalah 1030 kg/m<sup>3</sup>. Penggunaan hidrokinetik turbin secara komersial masih terkendala efisiensi yang rendah tetapi dengan biaya instalasi yang mahal. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengurangi kekurangan tersebut. Dari berbagai penelitian menyimpulkan bahwa salah satu aspek yang mempengaruhi performa turbin adalah kecepatan aliran.

### 2.3. Konsep Lift dan Drag

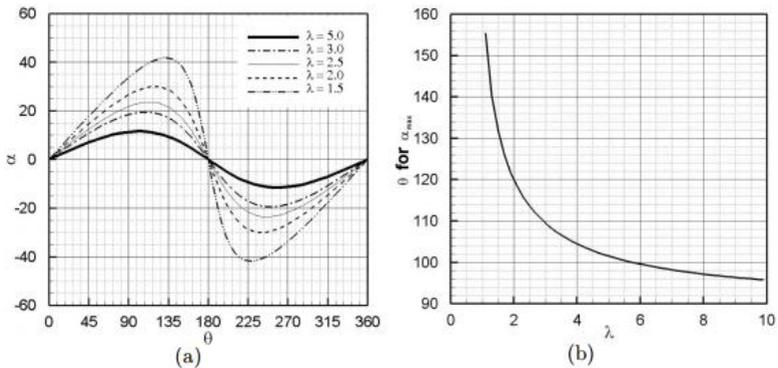
Pada *vertical axis hydroniketic turbine* terdapat *angle of attack* dan *relative velocity*. *Angle of attack* adalah sudut yang terbentuk antara *relative velocity* dengan garis chord.

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin(\theta)}{\lambda + \sin(\theta)} \right] - \alpha_p \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) digunakan jika diasumsikan tidak ada *loses* pada momentum fluida yang berputar. Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa sudut yang dibentuk oleh chord dan arah aliran udara adalah sudut serang, sehingga persamaan (2.9) digunakan untuk menghitung sudut serang yang dipengaruhi oleh TSR dan sudut pitch. Dimana  $\lambda = \frac{\omega r}{v}$  atau tip speed rasio,  $\theta$  adalah azimuth angle,  $\alpha_p$  adalah sudut pitch. Pada *downstream* (belakang turbin) rotasi  $180^\circ < \theta < 360^\circ$ ,  $\lambda$  lebih tinggi dari pada tip rasio pada *upstream* karena adanya konversi energi dari blade yang mengekstrak momentum air.



**Gambar 2. 4** *Angle of attack turbin (Birjandi, 2012)*



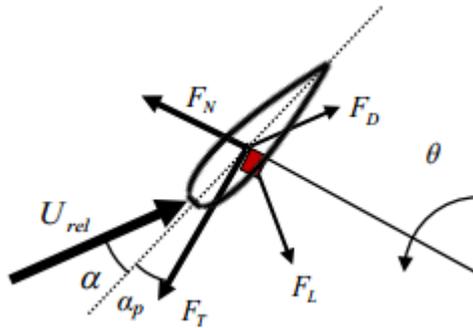
**Gambar 2. 5** Hubungan TSR dengan azimuth angle (a) angle of attack sebagai fungsi TSR dan azimuth angle (b) azimuth angle pada maksimum angle of attack akibat TSR (Birjandi, 2012)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa maksimum *angle of attack* muncul ketika *azimuth angle*  $\theta_{\alpha_{max}} = \cos^{-1} \left[ -\frac{1}{\lambda} \right]$ . Mengacu pada koordinat blade, gaya yang bekerja pada blade dibagi menjadi 2 komponen yaitu gaya drag  $F_D$  dan gaya lift  $F_L$  (Birjandi, 2012). Koefisien dari masing-masing gaya tersebut dirumuskan menjadi:

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho v^2 c} \quad (2.10)$$

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho v^2 c} \quad (2.11)$$

Pada persamaan (2.10) dan (2.11) tersebut merupakan persamaan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan nilai perkiraan dengan cara-cara baik. Dimana  $v$  adalah kecepatan fluida dan  $c$  adalah chord yang digunakan untuk mewakili luas penampang.



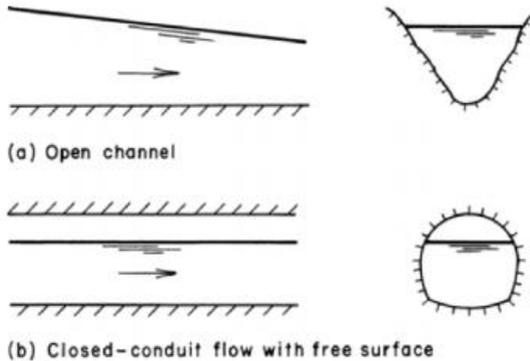
**Gambar 2. 6** Gaya yang bekerja pada blade (*Birjandi, 2012*)

Pada gambar 2.6 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada turbin dan sudut-sudut yang dibentuk akibab turbin dan aliran fluida berinteraksi.

#### 2.4. Aliran Kanal Terbuka

Aliran kanal terbuka adalah aliran yang pada dasarnya terdapat permukaan bebas yang mana permukaan tersebut sama dengan tekanan atmosfer lokal. Klasifikasi aliran kanal terbuka ada dua yaitu alami seperti sungai, dan buatan manusia seperti bendungan, irigasi dst. Dari aliran kanal terbuka buatan manusia, faktor geometri sangat penting untuk menunjukkan profil kecepatan yang ditimbulkan dari masing-masing bentuk aliran kanal terbuka seperti gambar 2.7. Pada gambar ini menunjukkan bahwa aliran

kanal terbuka juga dipengaruhi oleh kemiringan atau slope pada sepanjang aliran.



**Gambar 2. 7** Kanal terbuka (Muhson, 2009)

Aliran kanal terbuka dipengaruhi oleh faktor viskositas fluida yang bekerja. Nilai ini disebut bilangan reynold number. Bilangan reynold number dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Re = \frac{Vl}{\nu} \quad (2.12)$$

Dimana  $V$  adalah kecepatan aliran,  $L$  adalah panjang karakteristik aliran dan  $\nu$  adalah viskositas kinematik dari aliran. Bilangan reynold dikatakan turbulen jika lebih dari 2200 selain itu dikatakan laminar dan transisional.

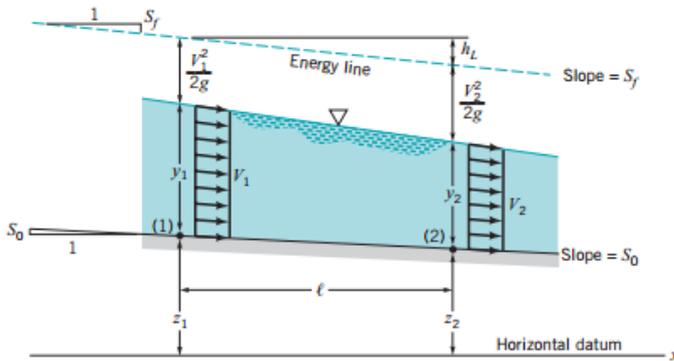
Pada aliran terbuka melibatkan permukaan bebas yang berdeformasi dari komponen gravitasi sepanjang kanal bawah sehingga membentuk sebuah gelombang. Gelombang itu bergerak dengan kecepatan tergantung pada ukuran kanal dan sifat kanal. Parameter tak berdimensi ini disebut bilangan frounde dengan rumus:

$$Fr = \frac{V}{(gl)^{1/2}} \quad (2.13)$$

Nilai  $Fr < 1$  berarti aliran tenang,  $Fr=1$  berarti aliran kritis dan  $Fr>1$  berarti superkritis (cepat) (Muhson, 2009). Jika dipasang turbin harus beraliran tenang atau kritis agar tidak membahayakan turbin maupun saat konstruksi.

### 2.4.1 Pertimbangan Energi

Kemiringan pada aliran kanal terbuka ditunjukkan pada gambar berikut:



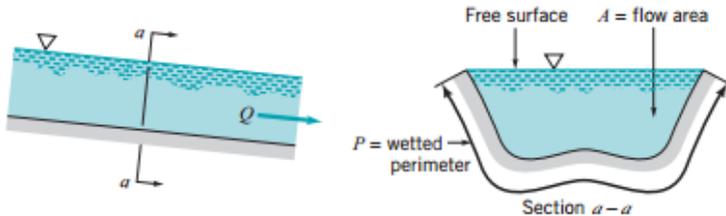
**Gambar 2. 8** Garis energi pada kanal terbuka (Muhson, 2009)

Gambar 2.8 menunjukkan bahwa head loss yang ditimbulkan semakin besar sepanjang aliran kanal terbuka. Head loss ini karena efek viskos saat aliran bergerak menuju hilir. Persamaan (2.14) dan (2.15) menyebutkan bahwa kemiringan dari dasar kanal (atau kemiringan dasar),  $S_0 = (z_1 - z_2) / \ell$ , diasumsikan konstan sepanjang segmen. Untuk kebanyakan aliran kanal terbuka, nilai  $S_0$  sangat kecil karena dasarnya hampir horizontal.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (2.14)$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + S_0 \ell = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (2.15)$$

### 2.4.2 Aliran Kanal dengan Kedalaman Seragam



**Gambar 2. 9** Aliran seragam (Muhson, 2009)

Aliran kanal dengan kedalaman seragam ( $dx/dy=0$ ) dapat diperoleh dengan mengatur kemiringan dasar kanal  $S_0$ , sehingga kemiringan itu tepat sama dengan kemiringan garis energi,  $S_f$ , yang artinya  $S_0 = S_f$ . Meninjau dari fluida yang mengalir di dalam sebuah kanal terbuka dengan bentuk dan ukuran penampang yang konstan sehingga kedalaman dari aliran tetap konstan. Luas penampang adalah  $A$  dan keliling terbasahi (*wetted perimeter*) yaitu panjang dari keliling pada penampang yang bersentuhan langsung dengan fluida. Keliling terbasahi diberi symbol  $P$ . Interaksi antara atmosfer dengan permukaan bebas dapat diabaikan sehingga bagian itu tidak termasuk ke dalam keliling terbasahi.

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa aliran seragam ditandai dengan ketinggian fluida pada sepanjang aliran adalah sama dan tidak berubah. Akan tetapi karena fluida mengikuti permukaan padat, distribusi kecepatan aktual dalam sebuah kanal terbuka tidak seragam. Kecepatan maksimum sering dijumpai agak di bawah permukaan bebas dan kecepatan fluida nol pada keliling terbasahi, dimana suatu tegangan geser dinding terbentuk.

### 2.4.3 Aliran Yang Berubah

Kemiringan dasar tidak konstan, bentuk penampang dan luasnya variasi dalam arah aliran atau terdapat beberapa penghambat di sepanjang suatu bagian kanal. Aliran ini diklasifikasikan sebagai aliran yang berubah secara bertahap dengan  $dx/dy \ll 1$  atau  $dx/dy \sim 1$  untuk aliran yang berubah secara

cepat. Aliran bertahap misalnya disebabkan oleh beberapa penghalang atau perubahan dari geometri kanal seperti pada sebuah dam, pintu air atau perubahan mendadak ketinggian. Untuk aliran berubah cepat disebabkan perubahan mendadak geometri kanal seperti aliran penampang yang membesar atau mengecil dalam sebuah kanal. Medan aliran seringkali bersifat dua atau tiga dimensi. Mungkin terdapat daerah separasi aliran, aliran balik atau osilasi tak tunak dari permukaan bebas. Bergolaknya aliran di dasar sungai di daerah dekat jembatan

## 2.5. Aliran pada dinding

Efek pada dinding dan dasar kanal yang menyebabkan terjadinya gaya perlawanan atau resistansi pada benda yang bergerak biasanya disebut dengan *blockage effect*. Variasi kecepatan atau timbulnya gaya perlawanan akibat dinding atau batas pada kanal sebagian besar dipengaruhi oleh *blockage ratio*. Persamaan yang digunakan adalah

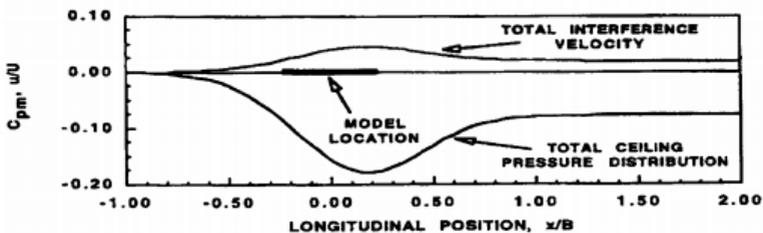
$$\varepsilon = \frac{A_t}{A_c} \quad (2.16)$$

Dimana  $A_t$  adalah luas sapuan turbin dan  $A_c$  adalah luas permukaan kanal (Groude & Olov Agren, 2013). Persamaan ini menerangkan bahwa luasan sapuan turbin berpengaruh terhadap seberapa besar menghalangi aliran pada kanal. Umumnya studi mengenai *blockage effect* bertujuan untuk menentukan seberapa besar peningkatan kecepatan aliran disekitar turbin. *Blockage effect* dapat dikategorikan menjadi 3 komponen, yakni *solid blockage*, *wake blockage* yang menyebabkan kecepatan aliran disekitar turbin meningkat, dan *boundary* yang menyebabkan timbulnya wake yang berhubungan dengan peningkatan gaya *drag*. Seperti pada gambar 2.9 menunjukkan bahwa *Solid blockage* terjadi ketika aliran yang menuju downstream mengalami peningkatan kecepatan lokal dan dinding di sekitar turbin. Selain itu juga mengakibatkan gradasi tekanan simetris dan peningkatan hambatan. Peningkatan kecepatan aliran lokal juga mempengaruhi lapisan batas di permukaan turbin yang menyebabkan peningkatan

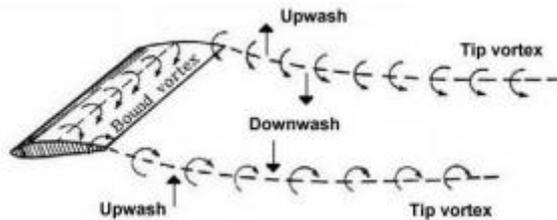
ketebalan lapisan batas. Fenomena ini biasanya disebut *wake blockage*. Fenomena ini mengakibatkan gradasi tekanan asimetris dan peningkatan hambatan (Aan, 2015). Gradasi tekanan yang dihasilkan karena sumber wake blokage yang bekerja pada volume model yang mengakibatkan kenaikan drag yang diinduksi oleh wake seperti pada gambar 2.10.

Masalah lain yang muncul dari turbin adalah wake. Wake merupakan penurunan kecepatan yang cukup besar dan peningkatan level turbulensi. Penurunan yang besar akan mengakibatkan penurunan energi yang terekstrak. Salah satu fenomena yang dapat di gunakan untuk menganalisa wake adalah pembentukan *tip vortex*. *Tip vortex* menyebabkan munculnya separasi aliran yang memisahkan antara aliran wake berturbulensi tinggi dengan aliran disekelilingnya seperti pada gambar 2.11. Karakteristik wake tip-vortex harus diukur dan diprediksi secara akurat serta dikurangi atau dihilangkan jika memungkinkan. *Downstream* dari trailing edge sayap, proses *roll-up shear layer* mengakibatkan vortisitas dari *shear layer* yang meninggalkan *trailing edge* untuk dibawa ke wilayah inti pusaran.

Selain itu di bagian turbin terjadi fenomena stall ketika sudut serang (*angle of attack*) atau kecepatan aliran sangat besar sehingga udara tidak bisa mengalir secara laminar. Oleh karena itu aliran udara tidak bisa menyentuh bagian belakang *blade* sehingga terjadi separasi aliran pada bagian belakang *blade*. Setelah melewati turbin, akan terjadi aliran turbulen di bagian belakang turbin, fenomena inilah yang disebut sebagai wake.



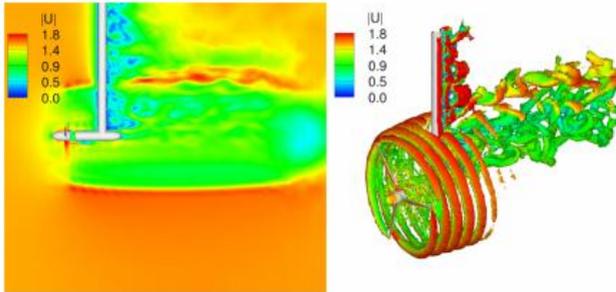
**Gambar 2.10** Distribusi kecepatan dan tekanan akibat adanya *solid blockage* dan *wake blockage* (Deepak , 2004)



**Gambar 2. 11** Vortex sistem yang terbentuk (Taqia, 2016)

## 2.6. Fluktuasi permukaan bebas

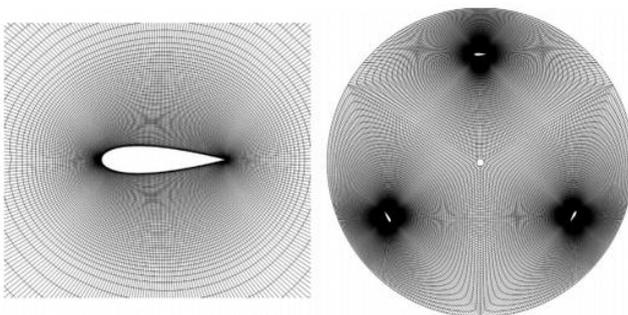
Fluktuasi adalah terjadinya perubahan ketinggian fluida pada suatu waktu. Fluktuasi permukaan air sungai menunjukkan adanya perubahan kecepatan aliran dan debitnya. Debit air yang mengalir dari kanal dipengaruhi curah hujan atau musim. Pada musim kemarau akan mengakibatkan penurunan debit yang ada pada kanal, sehingga permukaan bebas mungkin dapat berada di bawah *top plate* turbin (Amir Hossein Birjandi, 2013). Pada gambar 2.12 menunjukkan terjadinya fluktuasi akibat dipasang turbin jenis HAHT dengan kecepatan yang beragam pada daerah turbinnya. *Free surface effect* terjadi akibat adanya massa yang dimasukkan ke dalam aliran kanal terbuka atau *free surface* sehingga mengakibatkan level permukaan air yang naik dan berbentuk seperti gelombang. *Hydraulic jump* juga merupakan permasalahan yang sering muncul akibat aliran subkritis maupun kritis berubah secara mendadak menjadi super kritis akibat adanya hambatan. Contohnya saja ketika loncatan hidrolik mendekati bendungan, aliran meningkat sampai bendungan terendam. Hal ini terjadi akibat penurunan kecepatan di bawah bendungan saat lewat (El-Seddik, 2016).



**Gambar 2. 12** Fluktuasi yang terjadi (Yan & Deng, 2016)

## 2.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Ada berbagai teknik simulasi yang berkembang diantaranya *vortex model*, *Blade Element Momentum (BEM)*, *Multiple Steamtube model* dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. CFD adalah metode numerik dan algoritma untuk memecahkan masalah yang melibatkan dari aliran fluida tersebut. Properti yang digunakan sangat cepat dan mudah diakses menggunakan grid node. Tetapi sangat sulit untuk menciptakan struktur grid untuk geometri kompleks. Gambar 2.13 menunjukkan salah satu tahapan dalam simulasi yaitu meshing yang dilakukan sebelum melakukan perhitungan.



**Gambar 2. 13** Struktur computational grid sekitar blade (Masoud Ghasemian, 2017)

Pada simulasi CFD membutuhkan beberapa cara solusi persamaan aliran fluida agar menghasilkan konvergen. Konservasi keseimbangan masa pada inlet dan outlet sangat dibutuhkan untuk memverifikasi data. Berbagai persamaan yang digunakan untuk menentukan grid finite adalah k- $\epsilon$ , k- $\omega$ (SST), SST transition, Large Eddy simulation and Hybrid RANS-LES (Masoud Ghasemian, 2017). Persamaan umum yang digunakan dalam CFD adalah persamaan Navier-Stokes sebagai berikut:

a. Persamaan kontinuitas/massa

$$\frac{\delta\rho}{\delta t} + \frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = 0 \quad (2.16)$$

b. Persamaan momentum ke arah sumbu X

$$\rho \left( \frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} + z \frac{\delta u}{\delta z} \right) = - \frac{\delta P}{\delta x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta z^2} \right) \quad (2.17)$$

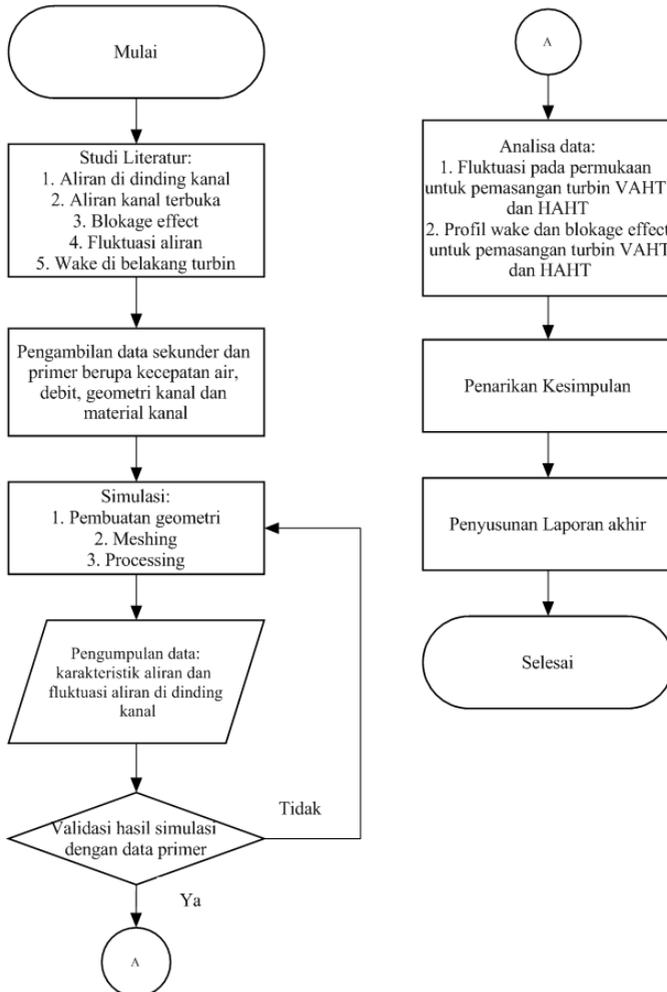
Pada Persamaan (2.16) menunjukkan tentang hukum kekekalan massa terhadap arah aliran. Ketika luas penampang yang dilewati masa setiap sumbu berbeda, maka kecepatannya berbeda agar mempertahannya massa yang terlewat. Pada Persamaan (2.17) menerangkan bahwa kekekalan momentum untuk sumbu X saja berkaitan erat dengan gaya yang terjadi pada aliran fluida. Pada aliran ini, gaya dipengaruhi oleh 3 jenis yaitu gaya akibat massa sehingga muncul adanya gravitasi, dipengaruhi oleh tekanan dan dipengaruhi oleh gesek sehingga muncul viskositas aliran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir mengenai tahapan pelaksanaan tugas akhir ini sebagai berikut:



**Gambar 3. 1** Diagram aliran penelitian

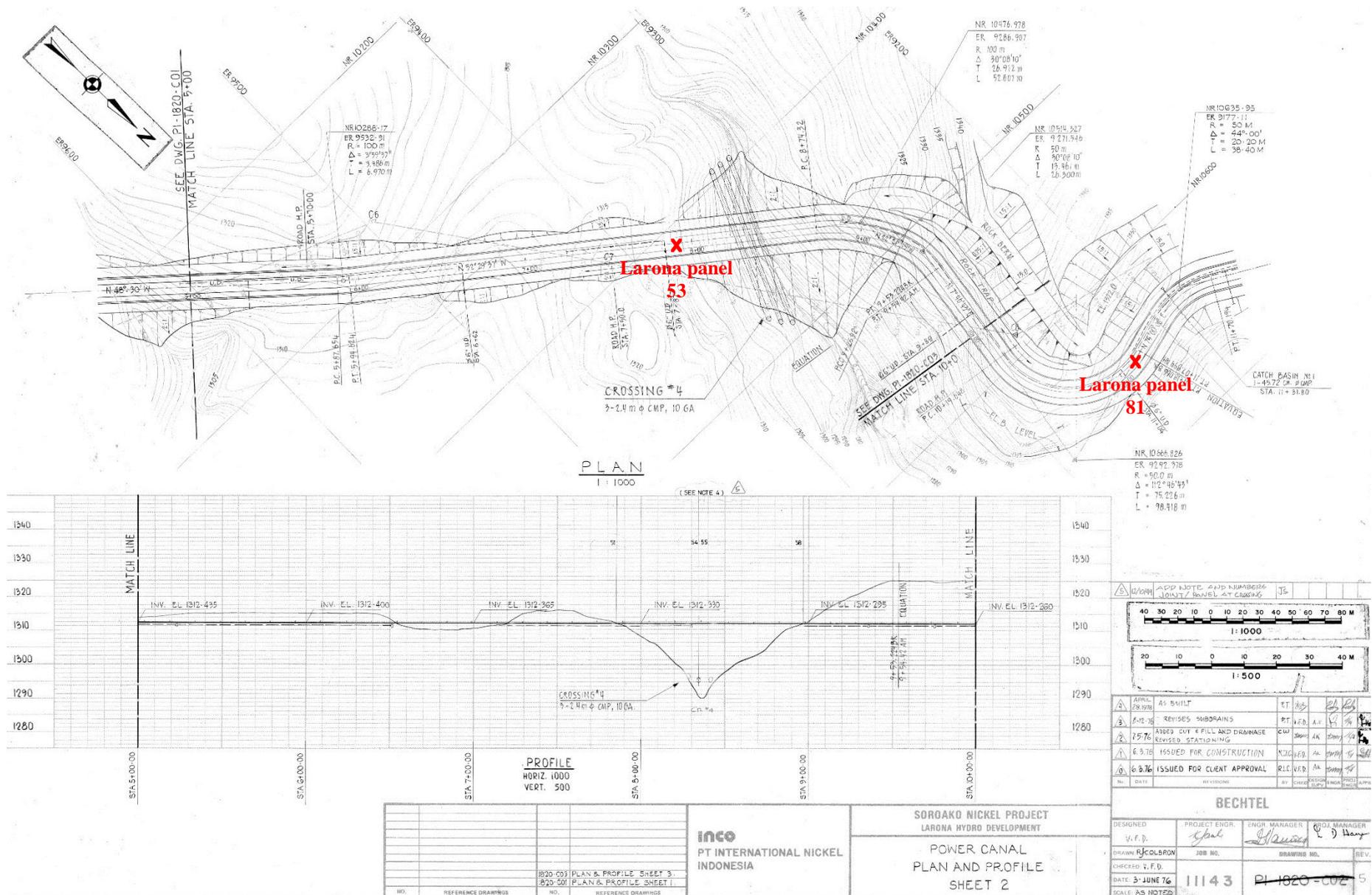
Tugas akhir ini diawali dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan agar dapat memahami konsep dan dasar-dasar tugas akhir. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara mempelajari jurnal maupun buku yang berkaitan dengan tugas akhir. Adapun yang dipelajari pada studi literatur ini mengenai pembangkit listrik hidrokinetik, turbin hidrokinetik, vertical aksis hidrokinetik turbin, horizontal aksis hidrokinetik turbin, fenomena wake, dan blockage effect. Selanjutnya dilakukan proses simulasi dengan menggunakan komputasi fluida dinamik yang diawali dengan pembuatan geometri turbin, meshing, pre-processing dan post processing dengan menggunakan data hasil pengukuran. Dari hasil simulasi didapatkan data berupa kontur kecepatan dan kontur tekanan pada turbin dengan variasi bentuk turbin (VAHT dan HAHT) dan karakteristik lokasi. Kemudian dilakukan validasi antara data simulasi dengan data pengukuran dengan menggunakan data kecepatan pada 3 lokasi titik yang telah ditentukan. Apabila hasil simulasi mencapai eror dibawah 10% maka dapat dilakukan analisa sesuai dengan tujuan tugas akhir ini.

### **3.2. Pengambilan data primer dan data sekunder**

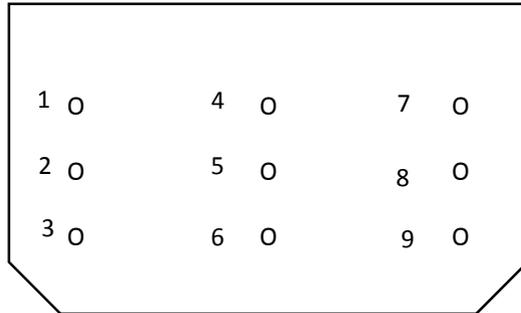
Pada pengambilan data primer dilakukan di kanal Larona pada panel 24, panel 53 dan panel 81. Panel ini dianggap mempunyai potensi, selain itu pada kanal Larona panel 24 dianggap untuk mewakili karakteristik lurus dari sebuah kanal serta kanal Larona panel 53 dan 81 digunakan mewakili karakteristik belokan. Pada lokasi tersebut, aliran kanal larona mempunyai spesifikasi laminar dan transisi. Dengan demikian pada kanal ini dianggap tidak berbahaya jika dipasang turbin. Kanal ini dibangun dengan spesifikasi 60-142 cms pada aliran yang dapat ditampungnya. Gambar 3.2 dan 3.4 merupakan lokasi pengambilan data primer. Variabel data yang diambil adalah kecepatan aliran yang berada di 3 lokasi yaitu panel 24, panel 53 dan panel 81. Pada pengukuran disetiap lokasi diambil 1 luas penampang untuk penentuan pengukuran kecepatan.



Gambar 3.2 Penentuan lokasi pengukuran di kanal Larona Panel 24



Gambar 3.3 Penentuan lokasi pengukuran di kanal Larona Panel 53 dan 81



**Gambar 3. 4** Luas penampang kanal larona

Gambar 3.4 menunjukkan titik pengukuran kecepatan sebanyak 9 buah titik yang digunakan untuk keterwakilan setiap tempat yaitu dengan kedalaman 1m, 2m, dan 3m. Selain itu digunakan pada lokasi sisi bagian kanan, bagian kiri dan tengah aliran. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan adalah current meter digital.



**Gambar 3. 5** Current meter digital

### 3.3. Pembuatan Geometri

Ada 2 jenis geometri yang dibuat yaitu kanal tanpa turbin dan kanal dengan turbin. Pembuatan geometri diawali dengan membuat geometri kanal menjadi 2 buah bagian dengan 2 lokasi titik dengan karakteristik lurus sepanjang 170 m dan karakteristik berbelok sepanjang 200m. Lebar kanal yaitu 14,4 m dan tingginya 5 m. Pembuatan kanal menggunakan spesifikasi dari data sekunder yang didapatkan. Geometri kanal dibuat dalam *Desain Modeller Fluent* berupa gambar profil penampang kanal kemudian dibuat gambar panjang. Untuk menghubungkan profil dengan panjang kanal menjadi bidang dan volume.

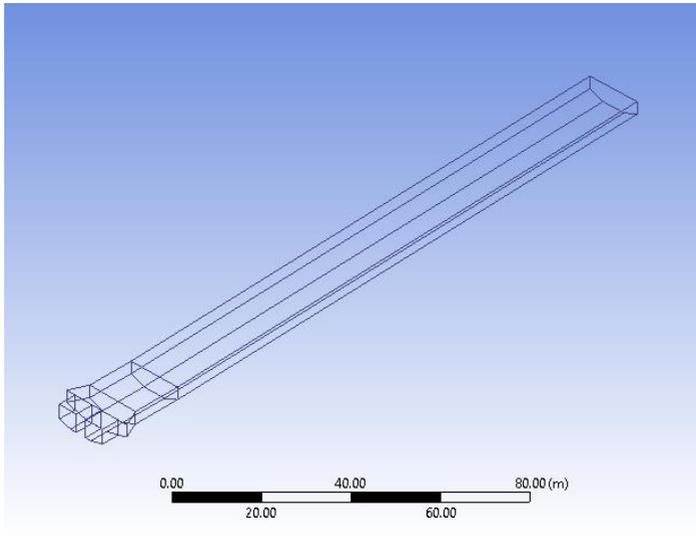
Untuk pembuatan geometri turbin diawali dengan mengimport airfoil ke dalam *Desain Modeller Fluent*. Airfoil yang berupa titik perlu dihubungkan hingga terbentuk garis, kemudian diubah menjadi bidang dan volume. Setelah *blade* terbentuk dilanjutkan dengan pembuatan *shaft*, domain tabung dan domain kanal yang sudah dibuat sebelumnya. Spesifikasi turbin yang digunakan menggunakan turbin komersial yang mudah didapatkan dipasaran. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Spesifikasi turbin jenis VAHT

No	Besaran	Nilai
1	Diameter Turbin	4.8 m
2	Diameter <i>Shaft</i>	0.5 m
3	Panjang Turbin	2.4 m
4	Panjang <i>Shaft</i>	2.4 m
5	Jumlah blade	4 buah

**Tabel 3. 2** Spesifikasi turbin jenis HAHT

No	Besaran	Nilai
1	Diameter Turbin	2.88 m
2	Diameter <i>Nose-tail</i>	0.28 m
3	Panjang Turbin	1.3 m
4	Panjang <i>Nose-Tail</i>	0.3 m
5	Jumlah Blade	2 buah



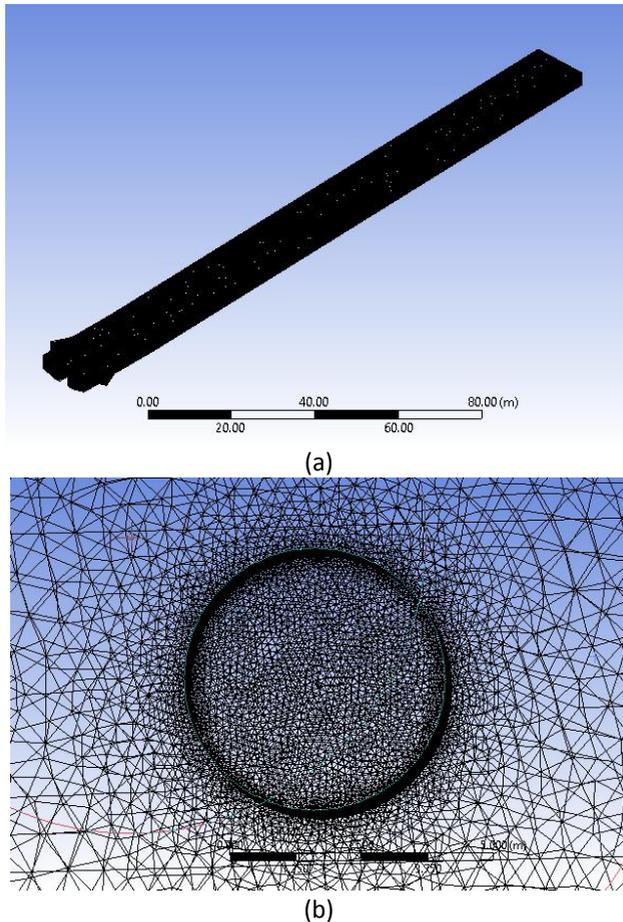
**Gambar 3. 1** Salah satu Geometri

### 3.4. Meshing

Meshing adalah proses membagi ke bagian kecil-kecil dari suatu objek. Bagian tersebut disebut dengan *control volume*. Pada bagian kecil tersebut diberikan tiga perhitungan persamaan yaitu konservasi energi, momentum dan massa. Untuk kasus tertentu semakin kecil bagian maka semakin akurat tetapi komputasi yang dihasilkan akan semakin berat. Pembagian mesh dilakukan dengan ukuran yang berbeda-beda. Pada bagian kanal diatur dengan ukuran 0,7m-1.5 m sedangkan untuk bagian turbin dan poros diatur dengan ukuran 8 mm. Selain ukuran, bentuk *meshing* juga mempengaruhi kualitas yang dihasilkan. Ketika membuat bentuk *mesh unstructured* maka diharapkan setiap bagian *unstructured*. Untuk bagian turbin digunakan *meshing* tetrahedron karena bentuk ini termasuk *unstructured* dan kualitas yang diharapkan baik.

Kualitas pada meshing yang baik dapat dilihat dari nilai beberapa parameter. Nilai *skewness*, *orthogonality*, *aspect ratio*

dan *elemen quality*. Nilai *skewness* berkualitas baik ketika mendekati nilai 0, nilai *aspect ratio* berkualitas baik ketika nilainya kurang dari 100, sedangkan nilai *elemen quality* dan *orthogonality* bernilai baik ketika nilai mendekati 1. Nilai *acceptable* pada *skweness* terdapat pada rentang 0,8-0,94, sedangkan untuk *elemen quality* dan *orthogonality* pada rentang 0,15-0,2.



**Gambar 3. 2** Meshing geometri di salah satu kanal (a) tanpa turbin (b) dengan turbin

### 3.5. Pre-processing dan processing

Pada kondisi ini dilakukan *set-up* untuk menentukan kondisi batas pada kasus yang akan disimulasikan. Pemilihan kondisi batas ini ada dua jenis yaitu jenis untuk menyesuaikan dengan pengukuran agar hasilnya valid dan untuk prediksi dalam pemasangan turbin. Untuk kondisi validasi digunakan nilai debit sebesar 142 cms sesuai dengan kondisi pengukuran agar dapat mengetahui nilai kecepatan yang dimasukan. Kecepatan didapat dari nilai debit dibagi luas area basah, sehingga kecepatan dari tiap lokasi panel tergantung dengan luas penampang. Berikut adalah kondisi kecepatan dari tiap lokasi.

**Tabel 3. 3** Data pengukuran yang di dapat

No	Lokasi	Kecepatan (m/s)	Free surface (m)
1	Panel 24	2.41	4.7
2	Panel 53	2.24	4.7
3	Panel 81	2.34	4.7

Pada tahap ini simulasi akan diinterpretasikan ke dalam bentuk gambar, grafik maupun kontur. Berikut adalah parameter yang digunakan dalam simulasi

**Tabel 3. 4** Parameter yang digunakan

Parameter	Jenis
Model Geometri	3D
Kedaaan	Transient
Viscous model	K- $\epsilon$ ,
Material properties	Fluid : air and water Solid : wall kanal

Selain parameter yang dimasukan juga diperhatikan kondisi batas. Kondisi batas ini yang menentukan simulasi sudah sesuai dengan pengukuran atau belum. Kondisi batas yang digunakan untuk validasi adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 5** Kondisi batas tanpa ada turbin

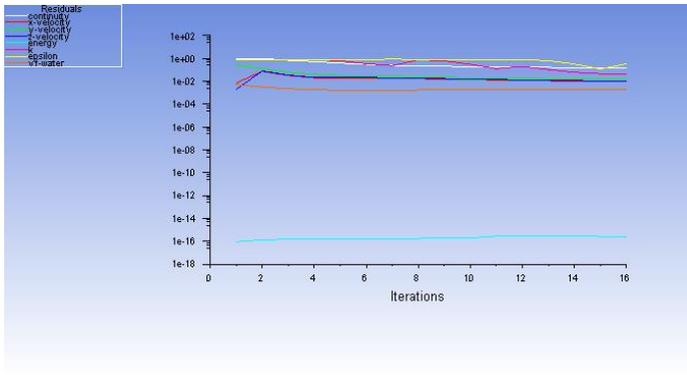
No	Kondisi Batas	Posisi	Kondisi
1	Inlet	Depan domain Kanal	Kecepatan sesuai dengan kecepatan saat pengukuran dan mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
2	Atmosfer	Atas domain kanal	Pressure outlet dengan mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
3	Outlet	Belakang domain kanal	Pressure outlet dengan mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
4	Wall	Kanan, kiri dan bawah domain kanal	Stationary wall dengan roughness 0,012

Setelah hasil simulasi sudah sesuai dengan data kecepatan yang diperoleh dari pengukuran maka dilakukan simulasi lagi untuk memprediksi setelah dipasang turbin pada keempat bagian tersebut. Tabel 3.6 menunjukkan kondisi batas yang digunakan untuk pemasangan turbin.

Dalam simulasi ini digunakan model turbulensi  $k-\varepsilon$  karena model turbulensi ini memberikan performa bagus untuk aliran yang melibatkan putaran untuk melihat laju penyebaran fluida. Setelah menyelesaikan pre-processing, kemudian masuk processing. Pada tahap ini dilakukan iterasi agar mendapatkan nilai konvergen.

**Tabel 3. 6** Kondisi batas dengan turbin

No	Kondisi Batas	Posisi	Kondisi
<i>Domain kanal (Fluid Domain)</i>			
1	Inlet	Depan domain Kanal	Kecepatan sesuai debit 80 cms karena probabilitas kemunculannya 95% mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
2	Atmosfer	Atas domain kanal	Pressure outlet dengan mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
3	Outlet	Belakang domain kanal	Pressure outlet dengan mixture phase dengan ukuran <i>free surface</i> sesuai dengan tabel 3.3
4	Wall	Kanan, kiri dan bawah domain kanal	Stationary wall dengan roughness 0,012
<i>Domain Tabung (Fluid Domain)</i>			
1	Interface	Atas, bawah dan permukaan luar tabung	Rotating wall
<i>Turbin (Solid)</i>			
1	Turbin	<i>Airfoil dan shaft</i>	Wall



**Gambar 3. 3** Iterasi yang didapat

Hasil konvergensi ini ditandai RMS sebesar  $10^{-4}$  atau kurang. Setelah hasil processing selesai maka diambil data kecepatan, profil tekanan dan *volume fraction water* dari hasil simulasi. Setelah data terkumpul diolah dan dianalisa.

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Validasi Hasil Penelitian**

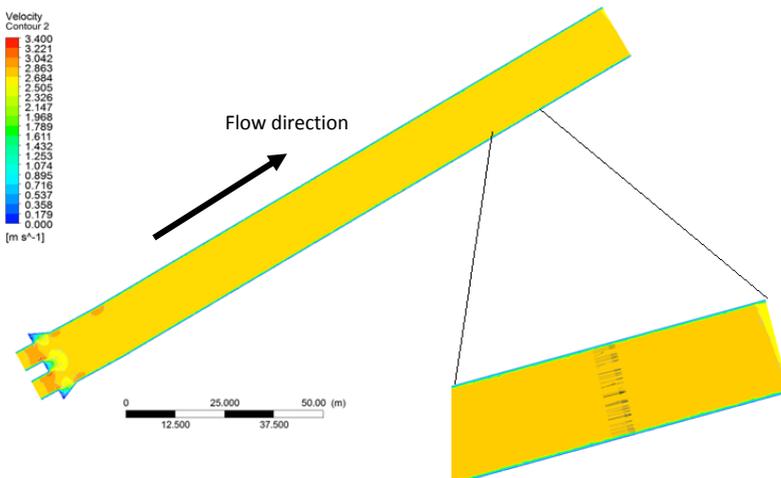
Validasi data merupakan proses membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Proses validasi ini dianggap sudah valid ketika error yang didapatkan kurang dari 10%. Dengan demikian proses ini penting untuk menyesuaikan apakah simulasi sudah benar dan bisa dilanjut ke tahap selanjutnya atau tidak. Proses validasi ini diinput dengan mengkondisikan simulasi sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hasil kecepatan yang didapat kemudian diambil lalu dibandingkan dengan hasil pengukuran. Kecepatan diambil dari 3 luas penampang dari 3 lokasi yang sudah diambil nilai kecepatan saat pengukuran. Berikut perbandingan hasil simulasi dan pengukuran yang dilakukan.

**Tabel 4. 1** Data Validasi

<b>Lokasi Panel</b>	<b>Nilai Rata-Rata Kecepatan Luas Penampang (m/s)</b>		<b>Selisih Kecepatan Antara Simulasi Dan Pengukuran (%)</b>
	<b>Simulasi</b>	<b>Pengukuran</b>	
Panel 24	2.568	2.41	6.507
Panel 53	2.175	2.24	3.317
Panel 81	2.094	2.34	10.682
<b>Selisih Kecepatan Rata-rata</b>			<b>6.835</b>

Pada kelima lokasi yang diambil didapatkan selisih kecepatan dari masing-masing sebesar 6.507%, 3.317%, dan 10.682%, sehingga diperoleh nilai rata-rata dari keseluruhan model sebesar 6.835%. Dimana error tersebut bernilai kurang dari 10% yang mana menunjukkan bahwa kondisi batas yang digunakan telah sesuai dan mendekati kondisi pada pengukuran sehingga dapat digunakan untuk melanjutkan simulasi ke tahap selanjutnya. Selain itu error dibawah 10% sudah dianggap valid untuk sebuah penelitian di komputasi fluid dinamik (Wiliam , 2002). Error setiap panel ada yang mendekati 10% maupun 0%. Hal ini dipicu karena

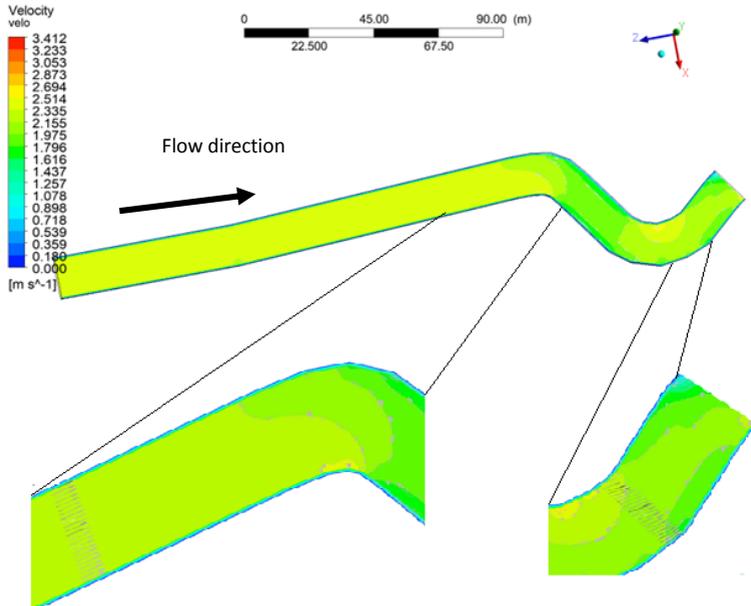
untuk pengambilan data dari setiap panel berselang waktu 1jam-1,5 jam. Contohnya ketika pengambilan data pada Kanal Larona panel 24 pada pukul 12.00 WITA, kanal Larona panel 53 dilakukan pada pukul 10.00 WITA, dan kanal Larona panel 81 pada pukul 09.35 WITA. Sehingga error yang didapat bernilai besar karena data yang diambil tidak sewaktu pada setiap panel. Oleh karena itu error dari setiap panel dirata-rata untuk mendapatkan error penelitian sebesar 6.835%. Berikut hasil kontur dari setiap kanal tanpa adanya turbin untuk validasi hasil.



**Gambar 4. 1** Profil kecepatan Kanal Larona panel 24

Di sepanjang aliran dari kanal Larona panel 24 menunjukkan adanya kecepatan yang hampir sama pada ketinggian 3m dari dasar. Akan tetapi untuk kecepatan dengan ketinggian 0.1m menunjukkan nilai dengan gesekan di dasar sungai dan semakin ke atas nilai distribusi kecepatan semakin beragam. Nilai kecepatan yang menurun selain diakibatkan dengan head juga diakibatkan dengan belokan pada kanal. Pada kanal Larona 24 terdapat belokan sebesar  $13^\circ$  sehingga perubahan kecepatan pada belokan tidak begitu signifikan. Pada aliran kanal terbuka laju aliran dipengaruhi oleh gaya gravitasi atau biasa disebut *froud number*. Pada lokasi

ini jika dihitung froude numbernya sesuai dengan kecepatan awal adalah sebesar 0,39 yang artinya masih bisa digunakan untuk pemasangan turbin.



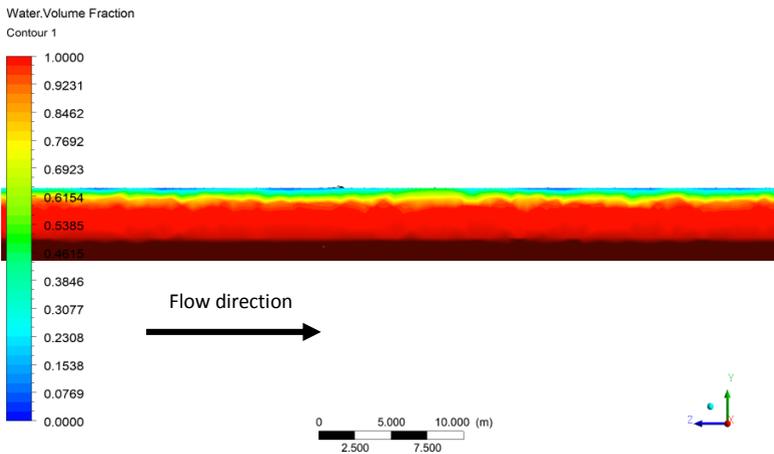
**Gambar 4. 2** Profil kecepatan kanal Larona panel 53 dan 81

Di sepanjang aliran dari kanal Larona 53 dan 81 menunjukkan adanya kecepatan yang hampir sama pada ketinggian 3m dari dasar. Akan tetapi untuk kecepatan dengan ketinggian 0.1 m menunjukkan nilai dengan gesekan di dasar sungai dan semakin ke atas nilai distribusi kecepatan semakin beragam. Nilai kecepatan pada bagian sebelum belokan besar ketika melewati belokan akan berangsur kembali membesar lagi. Hal ini dapat membuktikan bahwa geometri belokan sebesar 50° mengakibatkan penurunan kecepatan. Pada kanal Larona 53 dan 81 terdapat belokan sehingga perubahan kecepatan pada belokan signifikan. Pada aliran kanal terbuka laju aliran dipengaruhi oleh gaya gravitasi atau biasa disebut *froud number*. Pada bagian belokan aliran bersifat

superkritis dengan turbulensi yang lumayan besar. Pada lokasi ini jika dihitung froude numbernya sesuai dengan kecepatan awal adalah sebesar 0,32 yang artinya masih bisa digunakan untuk pemasangan turbin.

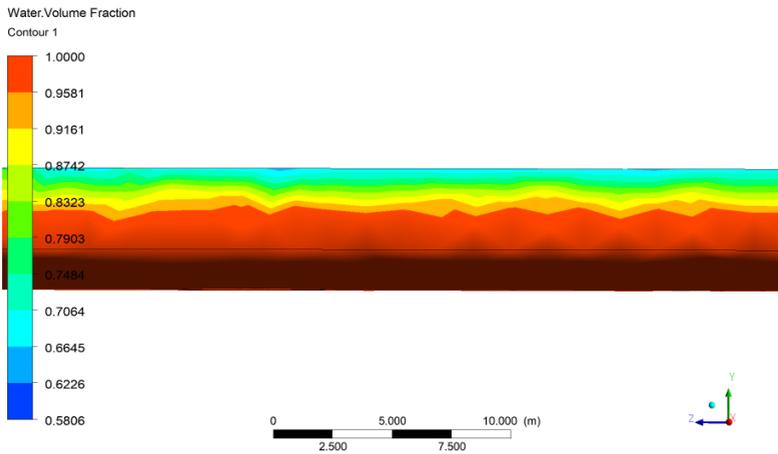
#### 4.2. Fluktuasi pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* (VAHT)

Berikut adalah volume fraction sebelum dipasang turbin

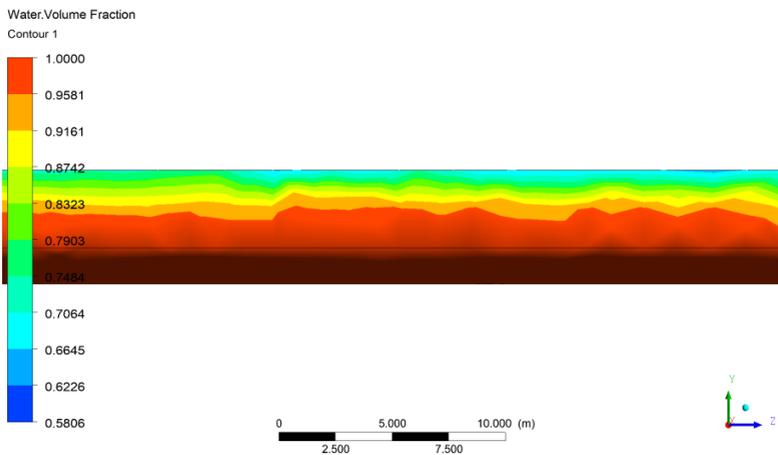


**Gambar 4. 3** Volume fraction pada kanal larona panel 24 sebelum dipasang turbin

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa sebelum diberi turbin fluktuasi yang ada di sisi kanan maupun di kiri dinding aliran mempunyai aliran yang sama dengan ketinggian yang hampir sama yaitu 4.7m. Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan kenaikan level setelah dipasang turbin jenis VAHT. Kenaikan level diakibatkan volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukkan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh maka ketinggian level air yang naik juga tidak besar.

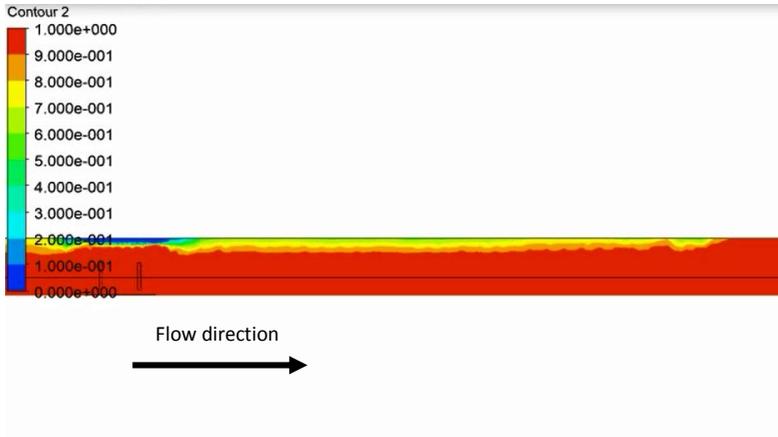


(a)



(b)

**Gambar 4. 4** Volume fraction pada kanal larona panel 24 (a)sisi kanan (b)sisi kiri



**Gambar 4. 5** Volume fraction pada kanal larona panel 24 sisi tengah

**Tabel 4. 2** Kenaikan level untuk kanal larona panel 24

Posisi	Selisih level (m)	Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)
Sebelum naik	0.126123	3.562794
Ditengah/naik	0.28871	7.611811
Setelah naik/turun	-0.0914	-2.36364

Dari tabel di atas menunjukkan kenaikan level sebesar 0.288 m atau naik sebesar 7.611% dari sebelum dikasih turbin. Jika dibandingkan dengan diameter turbin melebar sebesar 9.19 m.

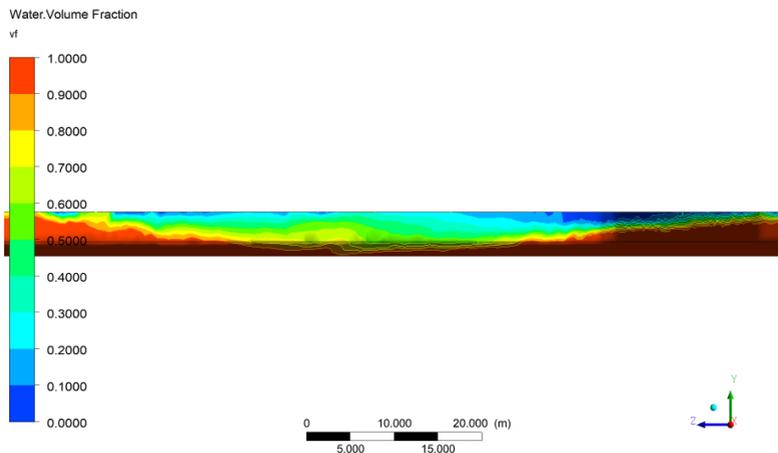
Sama seperti gambar 4.3 sebelum dipasang turbin, permukaan bebas pada kanal Larona panel 53 terjadi pada ketinggian 4.7m. Setelah dipasang turbin VAHT mengakibatkan kenaikan level permukaan bebas. Gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan hasil kenaikan permukaan bebas akibat dipasang turbin pada kanal Larona panel 53. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukkan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding.

Semakin jauh maka ketinggian level air yang naik juga tidak besar. Pada daerah dinding volume air yang terlihat semakin sedikit karena volume fraksi dengan nilai 1 menurun. Hal ini diakibatkan ketika air yang bergerak berinteraksi dengan udara sehingga udara ada yang masuk ke dalam air sehingga seolah-olah pada bagian dinding air menyusut.

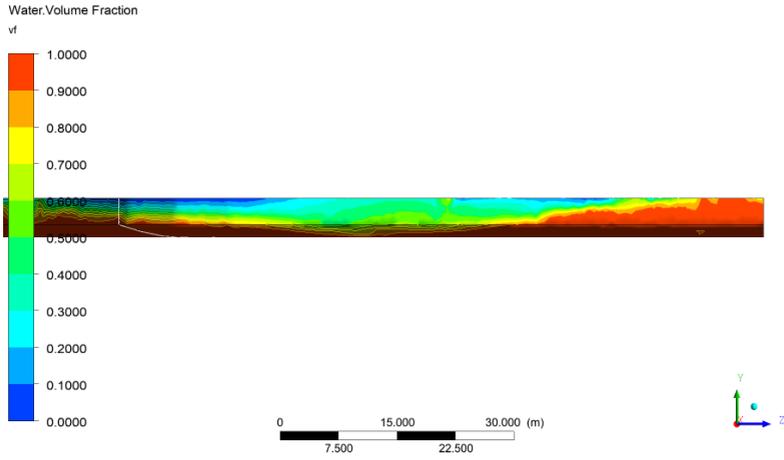
**Tabel 4. 3** Kenaikan level untuk kanal larona panel 53

Posisi	Selisih level (m)	Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)
Sebelum naik	0.0802426	2.24679349
Ditengah/naik	0.0086164	0.211103
Setelah naik/turun	0.5187652	14.9526415

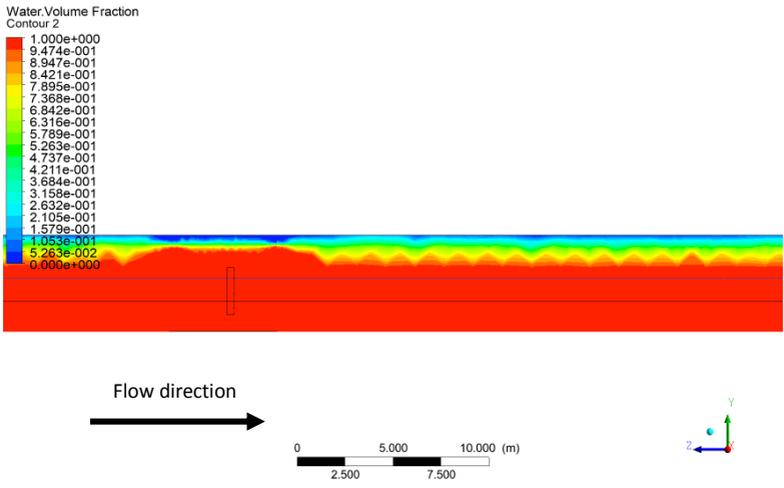
Dari tabel menunjukkan bahwa Kenaikan level sebesar 0.0086m atau naik sebesar 0.211% dari sebelum dikasih turbin. Jika dibandingkan dengan diameter turbin maka melebar sebesar 10.2 m.



**Gambar 4. 6** Volume fraction untuk larona panel 53 sisi kanan



(a)

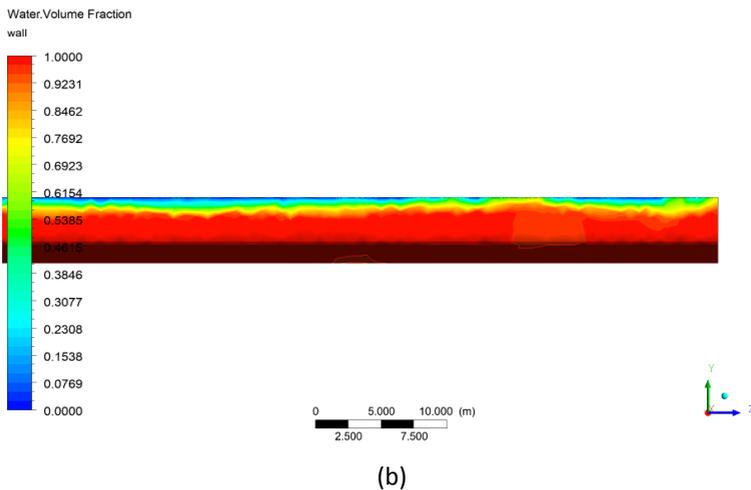
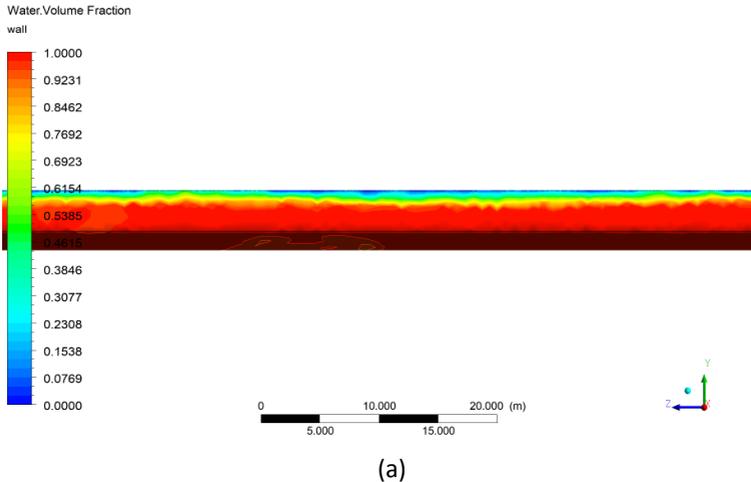


(b)

**Gambar 4. 7** Volume fraction untuk larona panel 53(a)sisi kiri  
(b)sisi kanan

### 4.3. Fluktuasi pada *Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)*

Berikut adalah volume fraction setelah dipasangi turbin jenis HAHT



**Gambar 4.8** Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin(a)sisi kanan (b)sisi kiri



**Gambar 4. 9** Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin sisi tengah

Jika dibandingkan dengan gambar 4.3 sebelum dipasang turbin dengan gambar 4.8 dan 4.9 menunjukkan adanya kenaikan level. Kenaikan ini diakibatkan seberapa besar volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dipasang. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal juga ikut naik tetapi dengan kenaikan yang tidak signifikan. Semakin jauh jaraknya maka ketinggian level air yang naik semakin sedikit atau berbanding terbalik. Pada pemasangan turbin HAHT mengakibatkan kenaikan level air yang lebih sedikit daripada pemasangan turbin VAHT. Hal ini dikarenakan ukuran serta luas sapuan turbin yang digunakan. Semakin besar luas sapuan turbin maka semakin meningkat pula perubahan level air yang dihasilkan.

Dari tabel 4.4 menunjukkan kenaikan level pada kanal Larona panel 24 sebesar 0.09 m atau naik sebesar 2.61% dari sebelum dikasih turbin. Jika dibandingkan dengan diameter turbin menyempit sebesar 2.41m

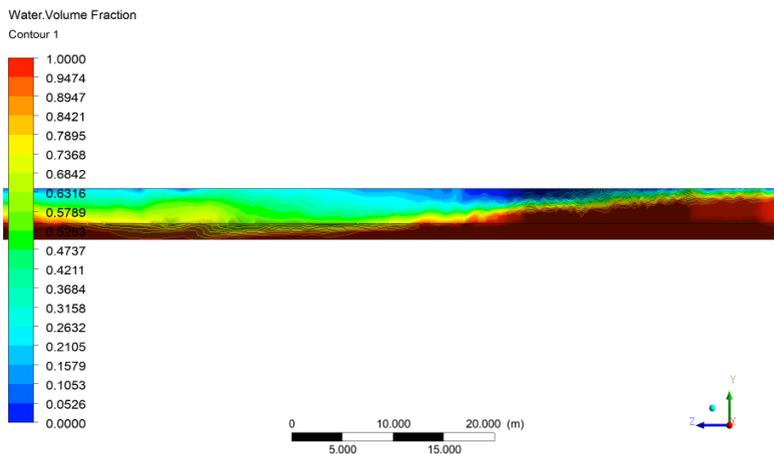
**Tabel 4. 4** Kenaikan level untuk kanal larona panel 24

<b>Posisi</b>	<b>Selisih level (m)</b>	<b>Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)</b>
Sebelum naik	0.39692	11.21242
Ditengah/naik	0.099098	2.612713
Setelah naik/turun	0.036272	0.938017

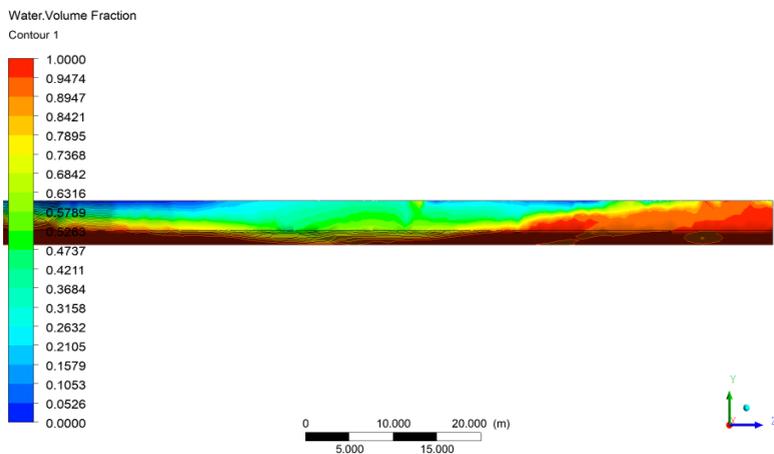
Sama seperti gambar 4.3 sebelum dipasangai turbin, permukaan bebas pada kanal Larona panel 53 terjadi pada ketinggian 4.7m. Setelah dipasang turbin mengakibatkan kenaikan level permukaan bebas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11. Kenaikan level diakibatkan seberapa besar volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukkan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh maka ketinggian level air yang naik juga tidak besar. Akibat dari interaksi dengan udara, volume air yang terkandung juga mengalami penurunan. Selain itu adanya putaran akibat turbin yang bergerak atau sapuan turbin menyebabkan udara ada yang masuk ke dalam aliran air.

Pada pemasangan turbin HAHT di kanal Larona panel 53 mengakibatkan kenaikan level air yang lebih sedikit daripada pemasangan turbin VAHT. Hal ini dikarenakan ukuran serta luas sapuan turbin yang digunakan. Semakin besar maka semakin meningkat pula perubahan level air yang dihasilkan.

Pada tabel 4.5 menunjukkan penurunan level sebesar 2.69 m atau turun sebesar 66.08% dari sebelum dikasih turbin. Jika dibandingkan dengan diameter turbin menyempit sebesar 1.98m. penyusutan ini di karenakan perhitungan yang digunakan yaitu menggunakan volume fraction 1 atau 100% air, sehingga pada kanal Larona 53 ini volume fraction 1 terletak dibawah ketinggian 4.7m dan di ketinggian 4.7m terdapat volume fraction sebesar 0.75.

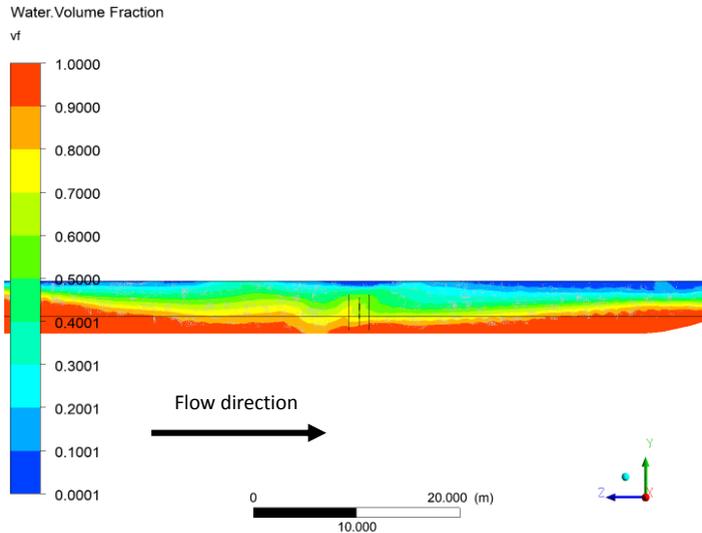


(a)



(b)

**Gambar 4. 10** Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin(a)sisi kanan (b)sisi kiri



**Gambar 4. 11** Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin sisi tengah

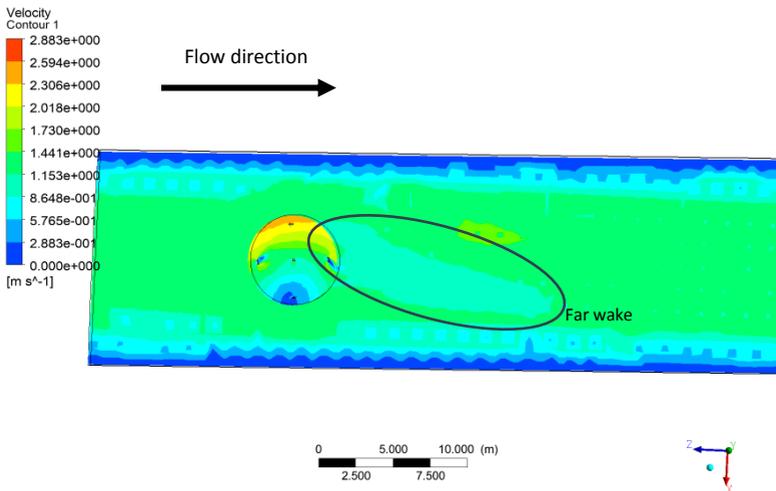
**Tabel 4. 5** Kenaikan level untuk kanal larona panel 53

Posisi	Selisih Level	Selisih Sebelum Dan Dikasih Turbin (%)
Sebelum naik	-2.4033	-67.2924
Ditengah/naik	-2.69739	-66.0861
Setelah naik/turun	-2.04643	-58.9853

#### 4.4. Profil Wake Pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)*

Wake atau olakan adalah salah satu masalah yang terjadi ketika fluida melewati benda padat terutama pada turbin yang berputar. Wake ini terjadi akibat adanya interaksi akibat ekstraksi energi air yang bertemu dengan turbin. Wake biasanya terjadi di

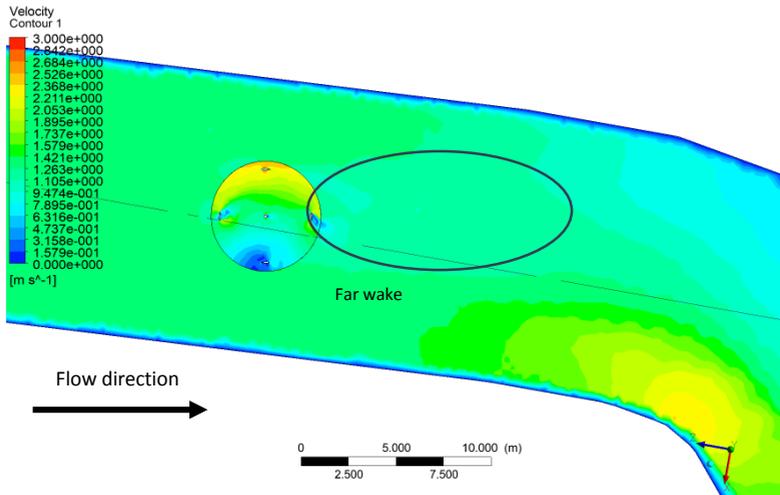
belakang turbin atau di daerah *downstream*. Pada daerah ini akan terbentuk vortex di belakang turbin. Wake terjadi akibat adanya *turbulence mixing* antara aliran dengan kecepatan rendah di belakang turbin dan aliran dengan kecepatan tinggi dari lingkungan. Turbulence mixing akan mengakibatkan terjadinya pertukaran energi dari lingkungan ke daerah wake sehingga kecepatan pada daerah wake perlahan-lahan akan kembali menyesuaikan kecepatan lingkungan. Fenomena ini dinamakan *recovery* wake yang mana panjang wake maksimal agar aliran dapat kembali seperti semula atau sesuai dengan lingkungannya.



**Gambar 4. 12** Distribusi kecepatan untuk panel larona 24

Fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah *far* wake menghasilkan nilai kecepatan 0,5 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada pada daerah ini menunjukkan bahwa wake terkonservasi sepanjang 2D

atau sejauh 9.76 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah asimetris pada *near wake* maupun *far wake*.



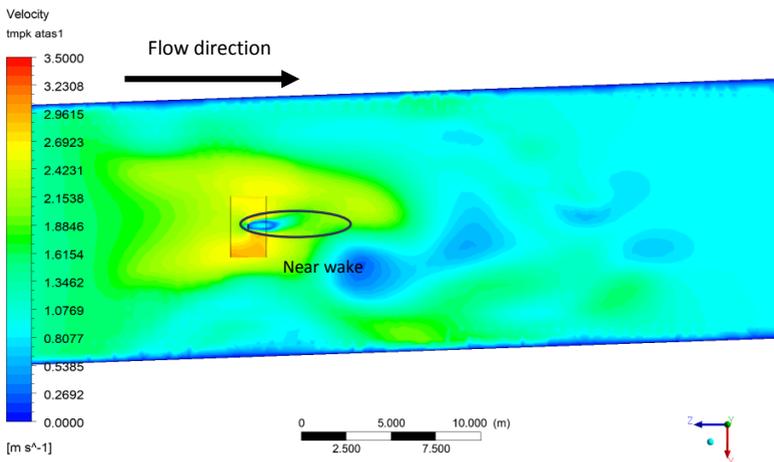
**Gambar 4. 13** Distribusi kecepatan pada kanal larona 53

Fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah *near wake* menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah *far wake* menghasilkan nilai kecepatan 0,75 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada pada daerah ini menunjukkan bahwa wake terkonservasi sepanjang 3D atau sejauh 14,4 m. Pada daerah karakteristik berbelok juga menghasilkan wake yang asimetris juga pada daerah wake maupun *far wake*, tetapi nilai wake hampir tersebar ke dinding akibat perubahan aliran arah.

#### 4.5. Profil Wake Pada *Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)*

Wake atau olakan adalah salah satu masalah yang terjadi ketika fluida melewati benda padat terutama pada turbin yang

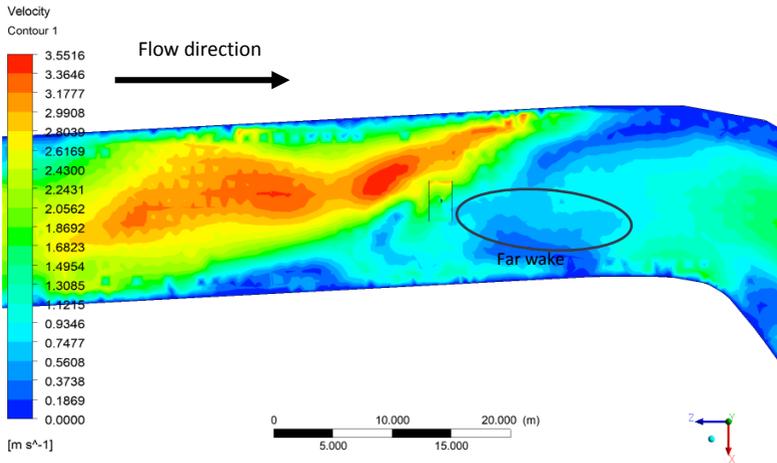
berputar. Wake ini terjadi akibat adanya interaksi akibat ekstraksi energy air yang bertemu dengan turbin. Wake biasanya terjadi di belakang turbin atau di daerah *downstream*. Pada daerah ini akan terbentuk vortex di belakang turbin. Wake terjadi akibat adanya *turbulence mixing* antara aliran dengan kecepatan rendah di belakang turbin dan aliran dengan kecepatan tinggi dari lingkungan. Turbulence mixing akan mengakibatkan terjadinya pertukaran energi dari lingkungan ke daerah wake sehingga kecepatan pada daerah wake perlahan-lahan akan kembali menyesuaikan kecepatan lingkungan. Fenomena ini dinamakan *recovery* wake yang mana panjang wake maksimal agar aliran dapat kembali seperti semula atau sesuai dengan lingkungannya.



**Gambar 4. 14** Kecepatan untuk larona panel 24

Fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah *far* wake menghasilkan nilai kecepatan 0,8 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada daerah ini menunjukkan bahwa wake terkonservasi sepanjang  $R$

atau sejauh 1.35 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah simetris pada *near wake*.



**Gambar 4. 15** Kecepatan untuk larona panel 53

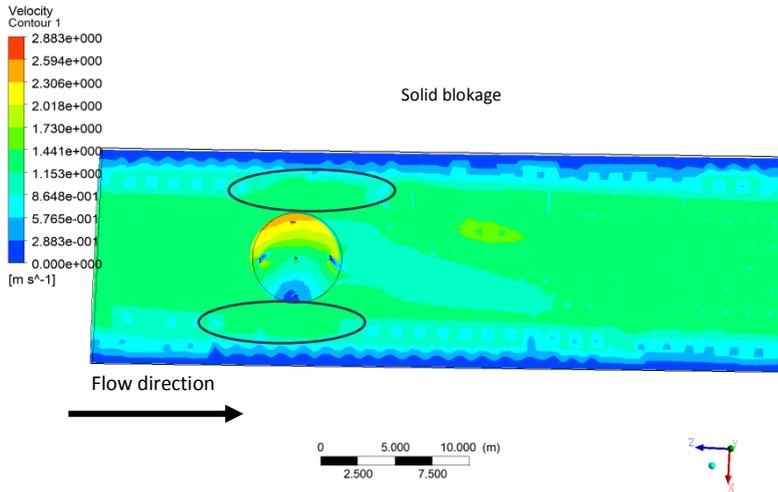
Fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah *near wake* menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah *far wake* menghasilkan nilai kecepatan 0,6 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada daerah ini menunjukkan bahwa wake terkonservasi sepanjang 10R atau sejauh 13.5 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah simetris pada *near wake* kemudian akan berbentuk asimetris pada *far wake* apalagi pada lokasi ini berkarakteristik belok sehingga bentuk *far wake* sangat asimetris.

#### 4.6. Blokage Effect Pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)*

Blockage effect merupakan efek atau gaya hambat oleh fluida yang disebabkan adanya interaksi fluida disekitar model dengan fluida disekitar dinding kanal sehingga menyebabkan terjadinya perubahan pola pada aliran free stream. Blockage effect terbagi

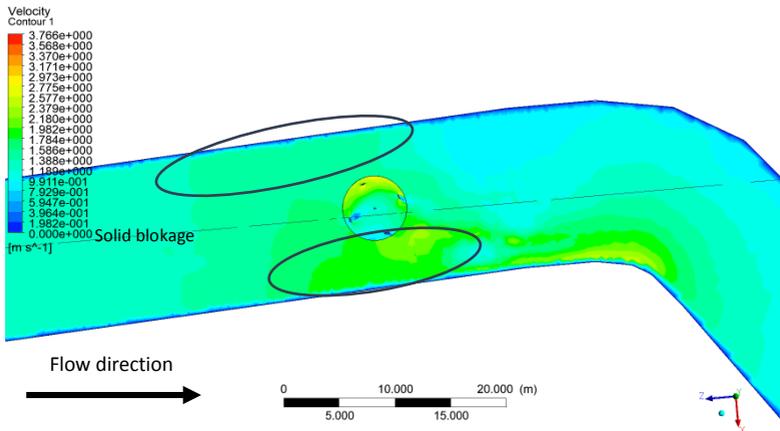
menjadi 3 jenis yakni *solid blockage*, *wake blockage* dan *boundary blockage*. Blockage efek dapat diketahui dengan melihat parameter blockage ratio. Blockage ratio adalah perbandingan antara luas kanal dengan luas hidrolik turbin.

#### 4.6.1. Distribusi Kecepatan



**Gambar 4. 16** Distribusi kecepatan untuk larona panel 24

Pada karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar  $1.5 \text{ m/s}$  pada sisi kanan dan  $1,55 \text{ m/s}$  untuk sisi kiri. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori yang menunjukkan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Selain itu besarnya nilai peningkatan sebelah kanan dan sebelah kiri berbeda akibat arah putar turbin *anticlockwise*. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar  $0.2\text{m/s}$  dan sisi kiri sebesar  $0.25\text{m/s}$ .

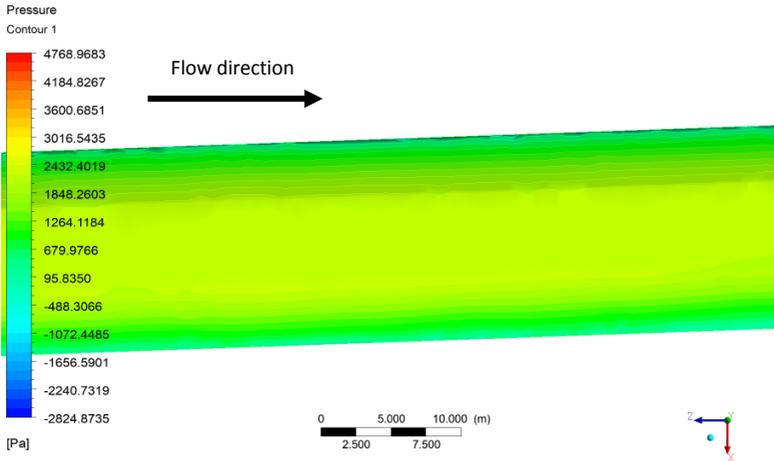


**Gambar 4. 17** Distribusi kecepatan untuk larona panel 53

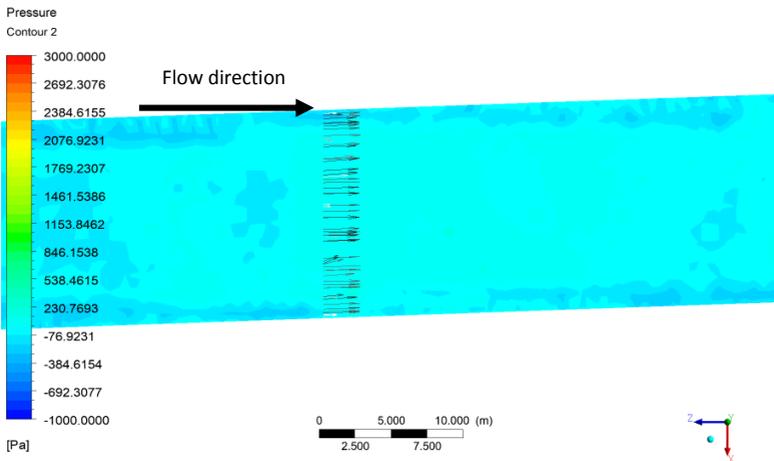
Untuk karakteristik kanal berbelok akan mengakibatkan blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori yang menunjukkan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Fenomena ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.8 m/s untuk sisi kanan sedangkan 1,5 m/s untuk sisi kiri. Selain itu ketika setelah aliran ada belokan maka kecepatan semakin meningkat karena adanya efek aliran yang berubah arah secara mendadak yaitu belokan ke kanan. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.5m/s dan sisi kiri sebesar 0.3m/s.

#### 4.6.2. Distribusi Tekanan

Selain kecepatan, blockage effect juga mempengaruhi distribusi tekanan. Berikut adalah distribusi tekanan untuk lokasi kanal Larona panel 24 dan panel 53.

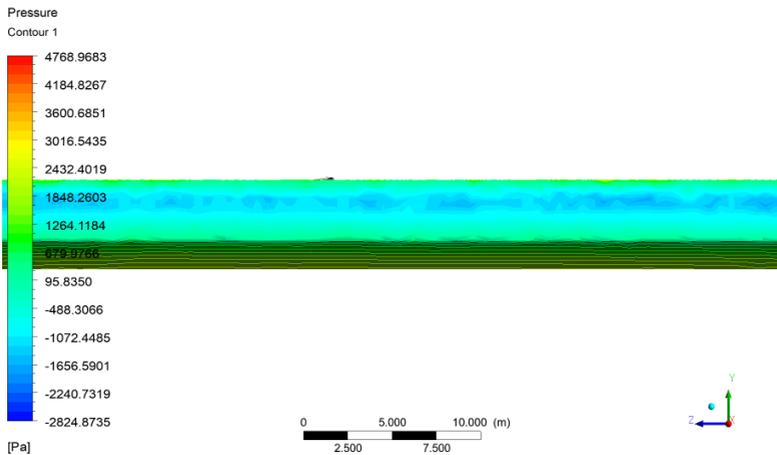
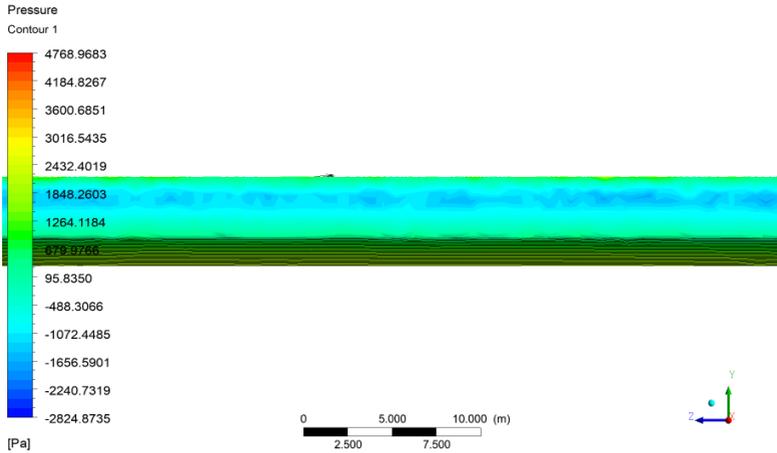


(a)



(b)

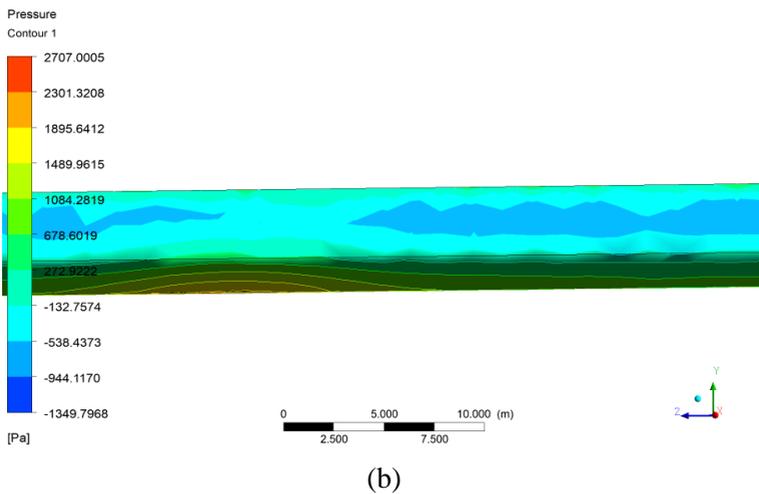
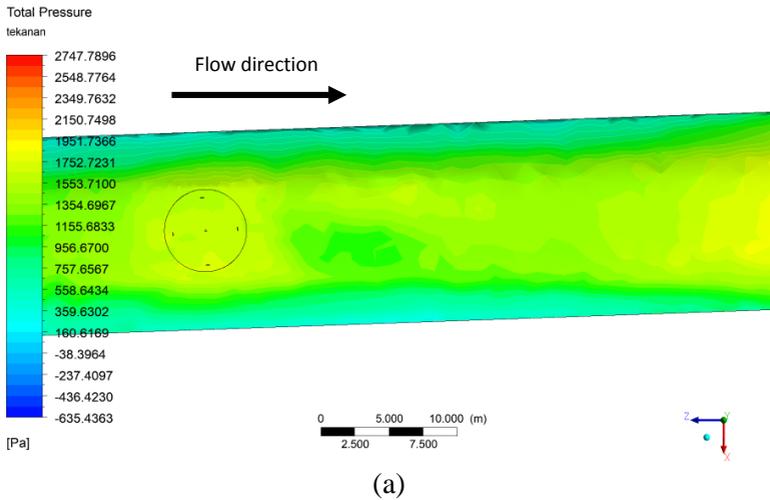
**Gambar 4. 18** Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin (a) wall tampak atas (b) tampak atas dengan ketinggian 3 meter



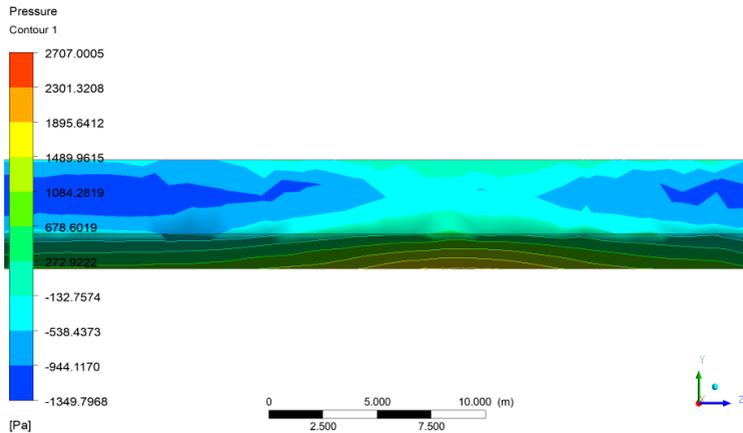
**Gambar 4. 19** Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin (a) sisi kiri (b) sisi kanan

Gambar 4.18 dan 4.19 menunjukkan untuk tekanan yang ada di kanal larona panel 24 hampir seragam pada setiap lokasi sebesar

230 Pa dan dinding -600 Pa. Nilai yang hampir sama menunjukkan bahwa tekanan yang didapat pada wall seragam berasal dari *shear stress* dan tekanan normal yang berada pada sepanjang kanal.



**Gambar 4. 20** Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) tampak atas (b) tampak samping kanan

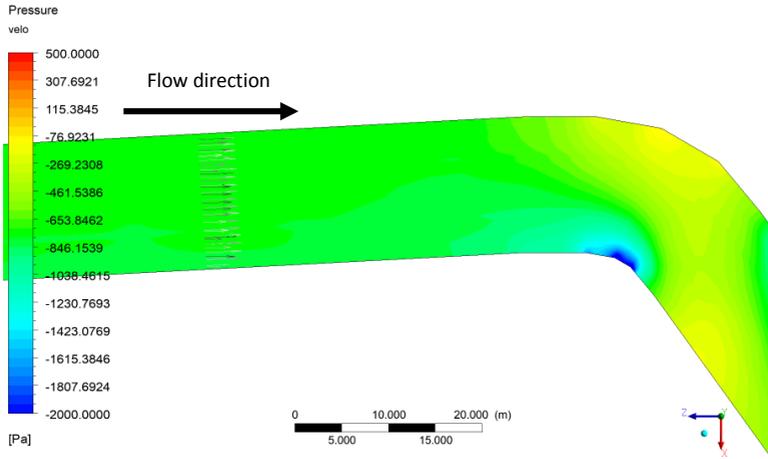


**Gambar 4.21** Distribusi tekanan untuk larona panel 24 tampak samping kiri

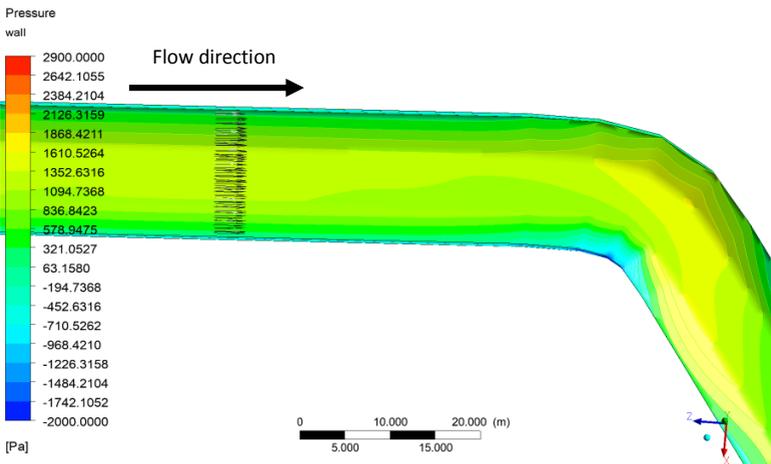
Pada distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Tekanan dinding yang dihasilkan sebesar -300 Pa. Akan tetapi tekanan yang berada di dekat turbin yang menuju ke arah dinding kecepatannya semakin besar dengan nilai 1553Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan didinding kiri mengalami peningkatan tekanan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

Peningkatan tekanan yang di dapat jika dibandingkan tanpa menggunakan turbin sebesar 1323Pa untuk yang berada di dekat

turbin dan peningkatan sebesar 300 Pa untuk dekat wall. Jika dibandingkan dengan karakteristik kanal yang berbelok (kanal Larona panel 53) adalah sebagai berikut.

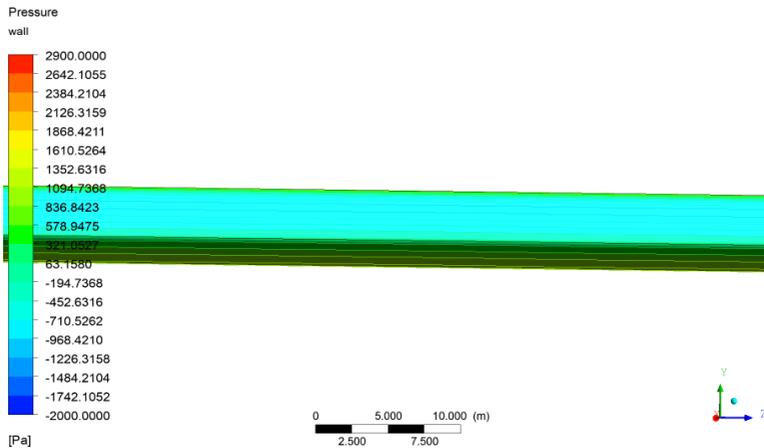
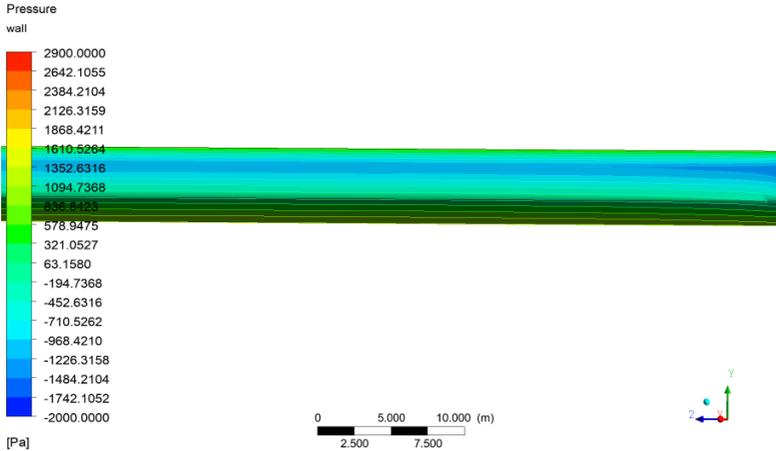


(a)



(b)

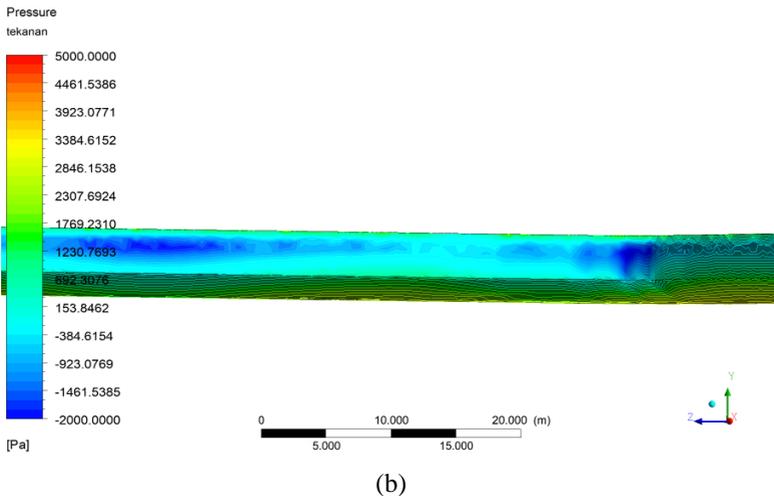
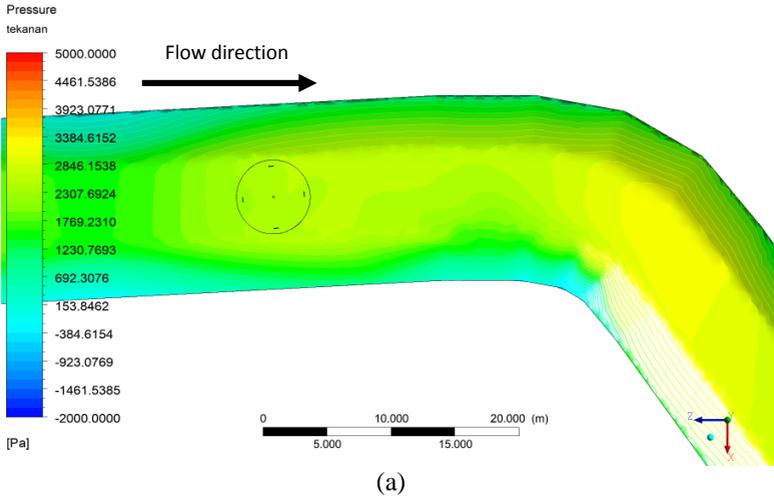
**Gambar 4. 22** Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53 (a) tampak atas dengan ketinggian 3 meter (b) wall tampak atas



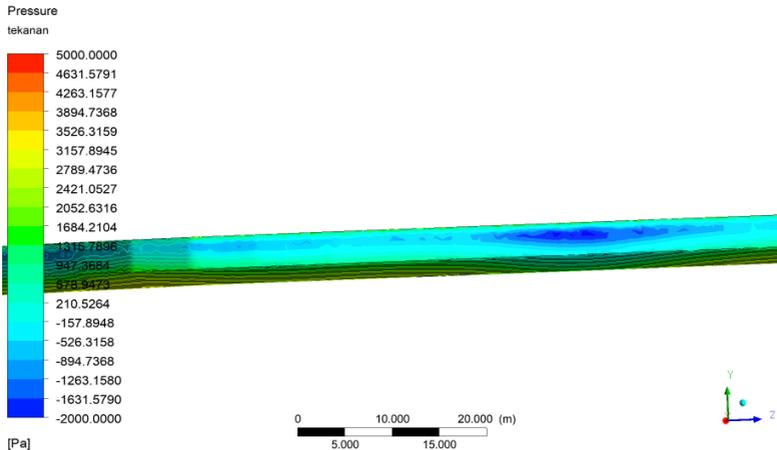
**Gambar 4.23** Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53  
(a) wall sisi kanan (b) wall sisi kiri

Gambar 4.22 dan 4.23 menunjukkan tekanan yang ada di kanal larona panel 53 hampir seragam pada setiap lokasi sebesar  $-460$  Pa dan pada dinding sebesar  $-550$  Pa. Nilai yang hampir sama

menunjukkan bahwa tekanan yang didapat pada wall seragam berasal dari *shear stress* dan tekanan normal yang berada pada sepanjang kanal.



**Gambar 4.24** Distribusi tekanan kanal larona 53 (a) tampak atas  
(b) tampak samping kanan



**Gambar 4.25** Distribusi tekanan kanal larona panel 53 tampak samping kiri

Pada distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan dinding yang didapat sebesar  $-270$  Pa. Akan tetapi tekanan yang berada didekat turbin yang menuju ke arah dinding kekecepatannya semakin besar dengai nilai  $2500$  Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Pada lokasi ini tekanan lebih mengarah ke samping kiri dan tekanan setelah belokan meningkat signifikan. Arah aliran yang berbelok mengakibatkan pusaran turbulen dan tekanan melonjak. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan didinding kiri mengalami peningkatan tekanan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas

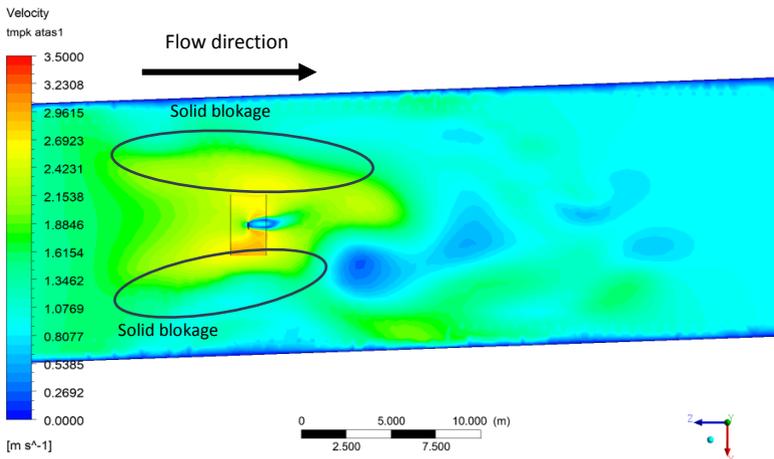
ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

Peningkatan tekanan yang didapat jika dibandingkan tanpa menggunakan turbin sebesar 2960 Pa untuk yang berada di dekat turbin dan peningkatan sebesar 280Pa dekat wall.

#### 4.7. Blokage Effect Pada *Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)*

Blockage effect merupakan efek atau gaya hambat oleh fluida yang disebabkan adanya interaksi fluida disekitar model dengan fluida disekitar dinding kanal sehingga menyebabkan terjadinya perubahan pola pada aliran free stream. Blockage effect terbagi menjadi 3 jenis yakni *solid blockage*, *wake blockage* dan *boundary blockage*. Blockage efek dapat diketahui dengan melihat parameter blockage ratio. Blockage ratio adalah perbandingan antara luas kanal dengan luas hidrolis turbin.

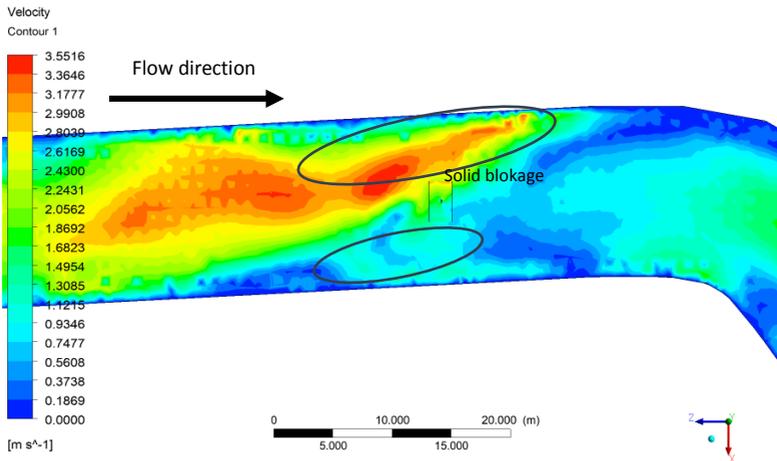
##### 4.7.1. Distribusi Kecepatan



**Gambar 4. 26** Kecepatan untuk larona panel 24

Pada karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini

mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.6 m/s pada sisi kanan dan sebesar 1,65 m/s untuk pada sisi kiri. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori yang menunjukkan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.3m/s dan sisi kiri sebesar 0.35m/s.

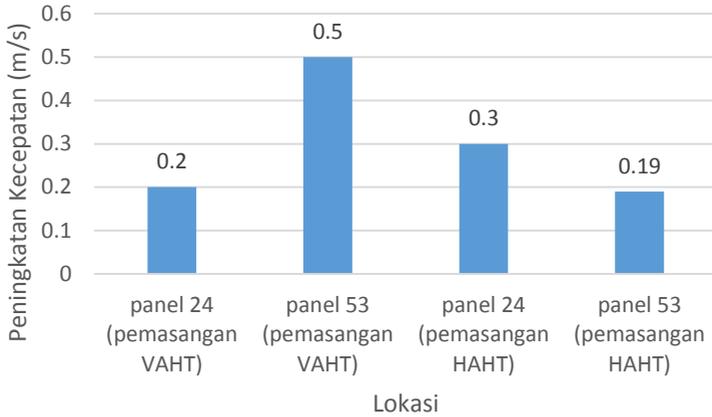


**Gambar 4. 27** Kecepatan untuk larona panel 53

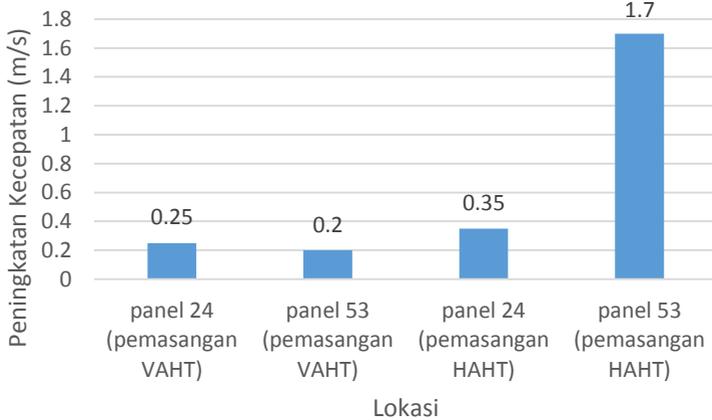
Pada karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.49 m/s pada sisi kanan dan sebesar 3 m/s untuk pada sisi kiri. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan teori yang menunjukkan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.19m/s dan sisi kiri sebesar 1.7m/s.

Pada gambar 4.28 menunjukkan bahwa peningkatan sisi kanan dan kiri berbeda. Hal ini diakibatkan oleh putaran turbin serta karakteristik lokasi yang ditempati. Lokasi yang berkelok sangat mempengaruhi sisi dinding mana yang lebih besar kecepatannya,

karena kondisi ini juga mengakibatkan aliran menjadi semakin membesar.



(a)

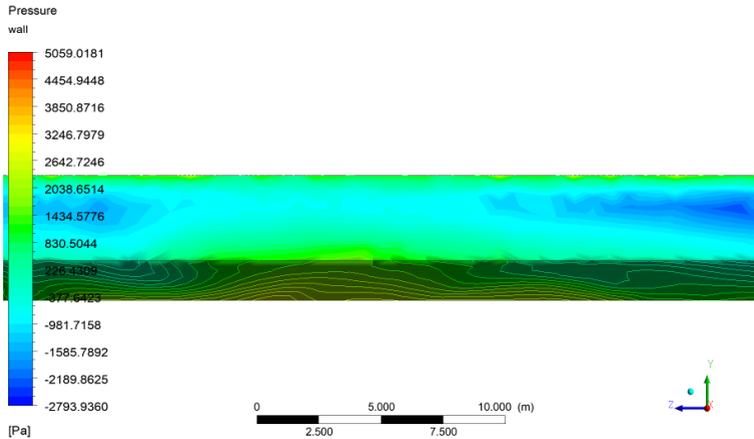


(b)

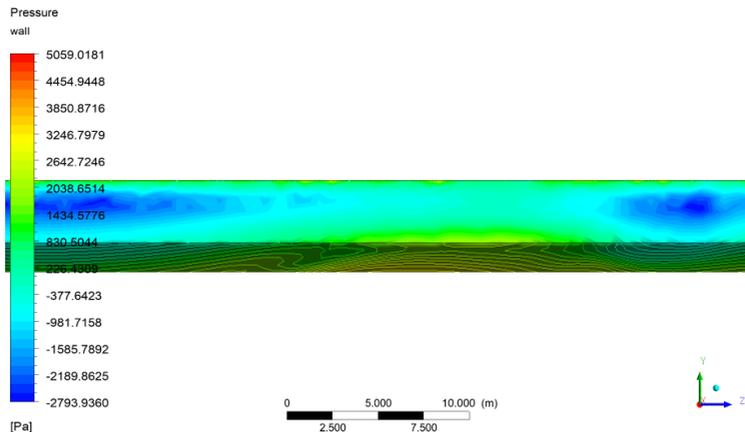
**Gambar 4. 28** Peningkatan kecepatan (a) sisi kanan (b) sisi kiri

## 4.7.2 Distribusi Tekanan

Selain kecepatan, blockage effect juga mempengaruhi distribusi tekanan. Berikut adalah distribusi tekanan untuk lokasi kanal Larona panel 24 dan panel 53.

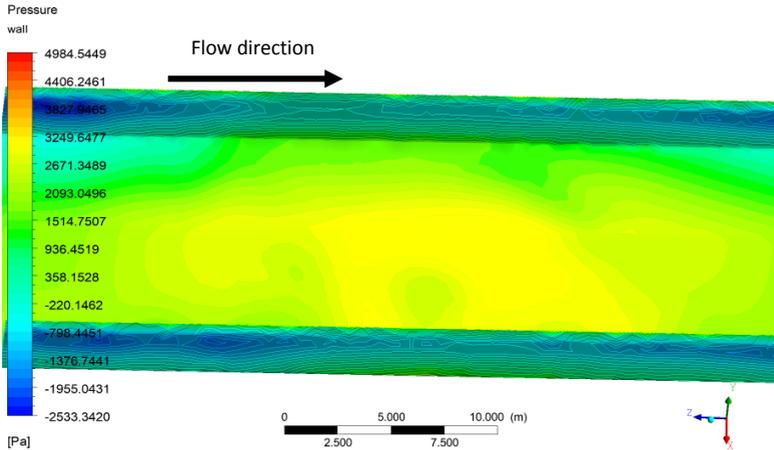


(a)



(b)

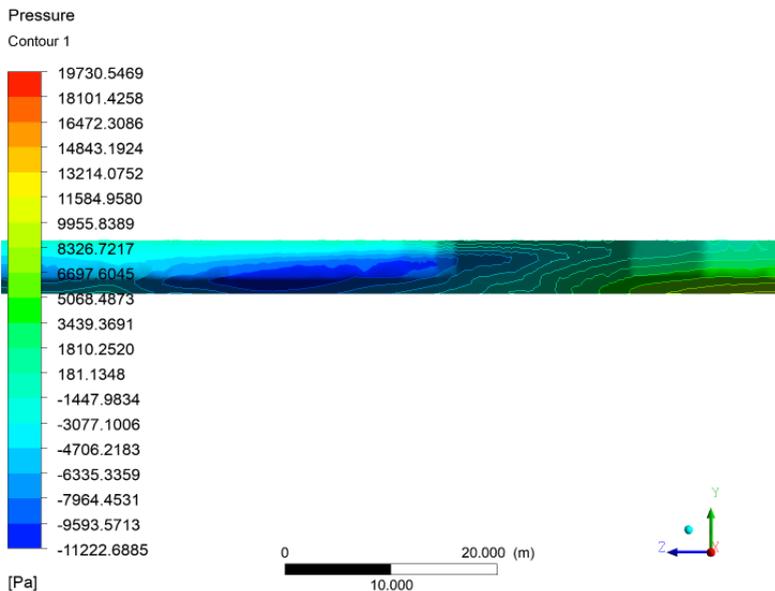
**Gambar 4. 29** Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) sisi kanan(b) sisi kiri



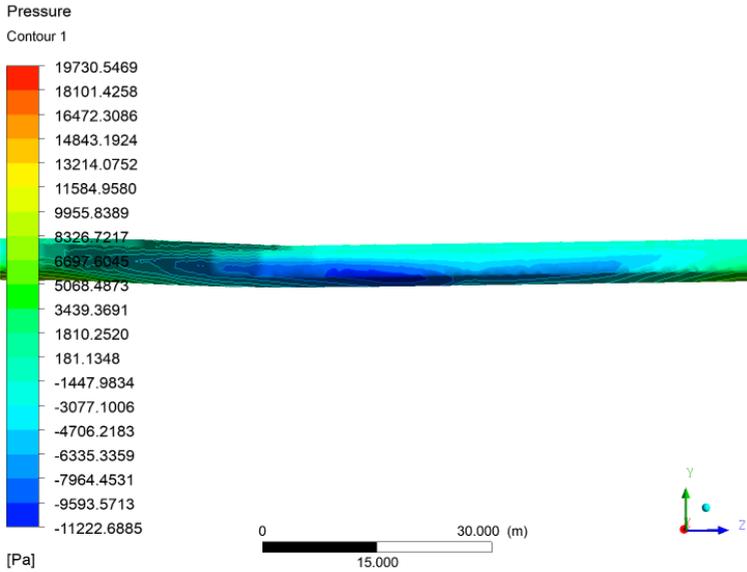
**Gambar 4. 30** Distribusi tekanan untuk larona panel 24 tampak atas

Pada distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan yang didapat pada dinding sebesar -400 Pa. Akan tetapi tekanan yang berada di dekat turbin yang menuju ke arah dinding kecepatannya semakin besar dengan nilai 2050 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan di dinding kiri mengalami peningkatan kecepatan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

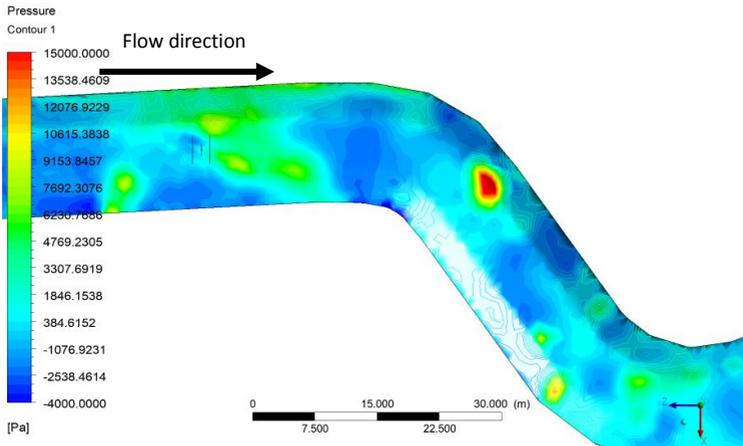
Jika dibandingkan dengan nilai sebelum dipasang turbin seperti pada gambar 4.16 maka mengalami peningkatan tekanan sebesar 1820 Pa, tetapi untuk bagian dinding mengalami peningkatan 200 Pa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pemasangan jenis turbin HAHT tekanan di dinding mengalami penurunan berbeda dengan jenis VAHT yang arah sapuan HAHT tegak lurus dengan aliran sehingga tekanan yang mengenai dinding akan berkurang. Jika dibandingkan dengan karakteristik kanal yang berbelok (panel 53) adalah sebagai berikut.



**Gambar 4. 31** Distribusi tekanan untuk larona panel 53 sisi kanan



(a)



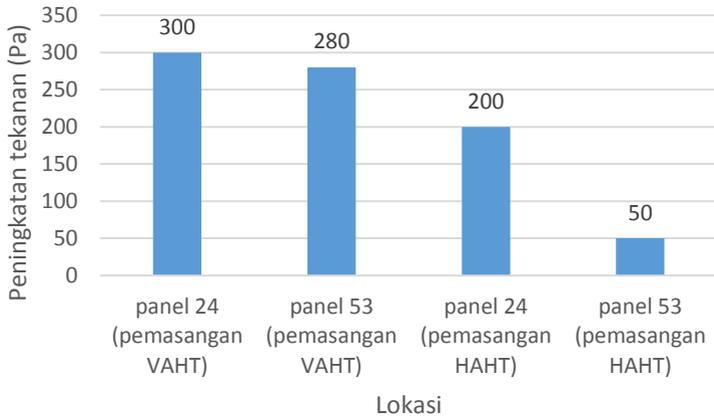
(b)

**Gambar 4. 32** Distribusi tekanan untuk larona panel 53 (a) sisi kiri (b) tampak atas

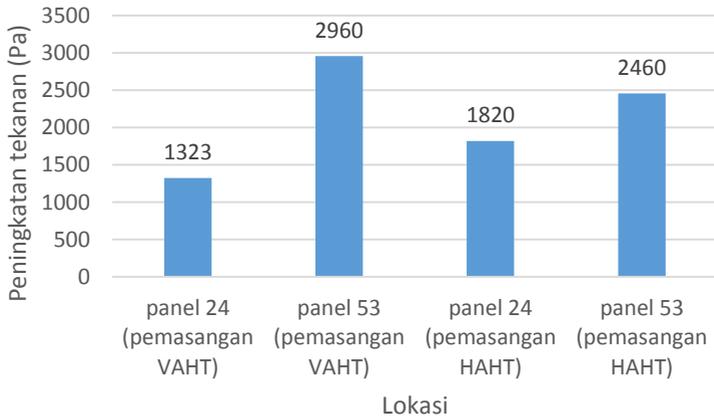
Pada distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan yang didapat pada dinding sebesar -500 Pa, sedangkan nilai tekanan yang berada di dekat turbin yang menuju ke arah dinding sebesar 2000 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Pada lokasi ini tekanan lebih mengarah ke samping kiri dan tekanan setelah belokan meningkat signifikan. Arah aliran yang berbelok mengakibatkan pusaran turbulen dan tekanan melonjak. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan dinding kiri mengalami peningkatan kecepatan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

Jika dibandingkan dengan nilai sebelum dipasang turbin seperti pada gambar 4.17 maka mengalami peningkatan tekanan sebesar 2460 Pa, tetapi untuk bagian dinding mengalami penurunan 50 Pa.

Gambar 4.33 menunjukkan bahwa tekanan yang di dapat berbeda-beda tergantung dari jenis pemasangan turbin serta lokasi yang ditempati dengan karakteristik lurus maupun berbelok. Pada pemasangan turbin yang sama maka peningkatan maupun penurunan tekanan berbanding terbalik pada sisi dekat dinding maupun dekat turbin.



(a)



(b)

**Gambar 4. 33** Peningkatan tekanan (a) sisi dekat turbin (b) sisi dekat dinding

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai fluktuasi ketinggian permukaan air dipengaruhi oleh seberapa besar energi yang diekstrak atau sapuan turbin dan semakin mengarah ke dinding peningkatannya semakin menurun. Nilai perubahan ketinggian permukaan air terbesar berada pada kanal larona panel 24 pemasangan *vertical axis hydrokinetic turbin* (VAHT) dengan peningkatan sebesar 0.288 m. Hal ini tidak menimbulkan bahaya karena peningkatan ketinggian maksimum yang diizinkan setelah dipasang turbin adalah 0.34 m. Selain itu peningkatan lebar terhadap diameter turbin terbesar pada kanal larona panel 53 pemasangan VAHT sebesar 10.2m.
- b. Hasil simulasi menunjukkan bahwa akibat pemasangan turbin akan mengakibatkan wake (olakan) dibelakang turbin. Selain itu mengakibatkan blockage efek yang berpengaruh ke dinding seperti peningkatan kecepatan aliran dan peningkatan tekanan. Peningkatan paling besar terjadi pada pemasangan VAHT di kanal larona 53 pebesar 2960 Pa. Selain tekanan yang meningkat, kecepatan yang berada di samping turbin juga meningkat dengan nilai terbesar 1.7 m/s pada pemasangan turbin HAHT di kanal larona 53 pada sisi kiri aliran. Selanjutnya, akibat pemasangan turbin jenis VAHT, wake yang dibentuk lebih panjang daripada pemasangan jenis turbin *horizontal axis hydrokinetic turbin* (HAHT) dengan bentuk simetris ketika menggunakan HAHT dan berbentuk asimetris ketika menggunakan VAHT.

## **5.2. Saran**

Adapun saran yang bisa disampaikan penulis untuk penelitian selanjutnya adalah bisa digunakan variasi ukuran maupaun susunan turbin dan variasi kecepatan yang lebih banyak lagi agar nilainya lebih komprehensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aan, H. (2015). *Investigation of blokage correction methods for full-scale wind tunnel testing of trucks*. KTH: Royal institute of Technology.
- Amir Hossein Birjandi, E. L. (2013). *Power measurement of hydrokinetic turbines with free-surface and blockage effect*. USA: Elsevier.
- Birjandi, A. H. (2012). *Effect of Flow and Fluid Structures on the Performance of Vertical River Hydrokinetic Turbines*. Winnipeg: University of Manitoba.
- Deepak , S. (2004). *Wind Tunnel blokage corrections : a computational study*. Texas USA: Texas Tech University.
- El-Seddik, M. M. (2016). *Hydraulic jump experiment in a rectangular open channel fl ume*. Egypt: Institute of Aviation Engineering and Technology (IAET).
- Groude, A., & Olov Agren. (2013). *Simulations of a vertical axis turbine in a channel*. Sweden: Elsevier.
- Guney, M. e. (2011). *Evaluation and measures to increase performance coefficient of hydrokinetic turbines*. Turkey: Elsevier.
- International Energy Agency*. (2018, 3 5). Retrieved from Indonesia : Indicator for 2015: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- Masoud Ghasemian, N. A. (2017). *A review on computational fluid dynamic simulation techniques for Darrieus vertical axis wind turbines*. USA: Elsevier.
- MJ Khan, G. B. (2009). *Hydrokinetik energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review*. Canada: Elsevier.
- Muhson, B. R. (2009). *Mekanika fluida edisi 6*. USA: Wiley.
- Pham, L. T. (2016). *Riverine Hydrokinetic Technology: A Review*. Retrieved 12 15, 2017, from <https://www.slideshare.net/jacksmtv/riverine-hydrokinetic-technology-a-review>

- PT VALE INDONESIA. (2016, 1 5). Retrieved 1 10, 2017, from <http://www.vale.com/indonesia/bh/business/energy/our-hydro-power-plant-in-indonesia/larona-hydroelectric-plant/pages/plta-larona.aspx>
- Septyaningrum, E. (2015). *Analisis profil wake di belakang turbin arus laut tipe v-blade darrieus berbasis computational fluid dynamic*. Surabaya: ITS.
- Taqia, F. Z. (2016). *ANALISIS PROFIL WAKE TURBIN HIDROKINETIK TIPE DARRIEUS STRAIGHT BLADE CASCADE PADA KANAL MENGGUNAKAN CFD*. Surabaya: ITS.
- Waluyo, J. (2014, Juli 2). *Kebijakan Pengembangan Tenaga Air*. Retrieved from EBTKE: <http://ebtke.esdm.go.id/post/2014/07/02/628/kebijakan.pengembangan.tenaga.air>
- Wiliam , L. O. (2002). *verification and validation in computational fluid dynamics*. USA: Elsevier.
- Yan, J., & Deng, X. (2016). *Free surface flow modeling and simulation of horizontal-axis tidal-stream turbines*. USA: Elsevier.
- ZHAO, K. (2014). *Experimental study of free-surface fluctuations in open-channel flow in the presence of periodic cylinder arrays*. UK: international Association for Hydro-Environment Engineering and Research.

## LAMPIRAN A

### A.1 Probabilitas 95% Dari Kanal Larona

Tahun	Debit (cms)
2007	85
2008	68
2009	78
2010	83
2011	52
2012	45
2013	67
2014	87
2015	75
2016	89
2017	88

### A.2 Kecepatan Inputan Dari Rata-rata Probabilitas 95% Kanal Larona

Debit (cms)	Luas penampang (m <sup>2</sup> )	Kecepatan inputan (m/s)
80	61.28	1.305483
80	61.28	1.305483



## LAMPIRAN B

### Spesifikasi *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine*



**New Energy**  
CORPORATION

#### Contact

sales@newenergycorp.ca  
+1.403.260.5248  
Suite 261, 3553-31st Street NW  
Calgary, AB, Canada, T2L 2K7

#### *EnCurrent* 25kW Low Flow Specifications

Rev 6  
04/08/2016

#### Safe

- Safety brake to secure system when not operating
- No impact on marine life
- Biodegradable oil used in gearbox

#### Efficient

- Multi-directional operation for tidal or river generation
- No greenhouse gas emissions
- Easily assembled with powered lifting assistance

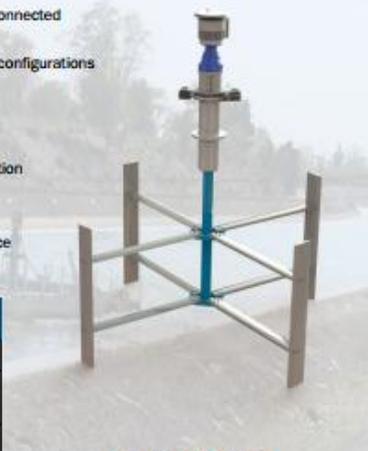
#### Flexible

- Worldwide grid connected operation ready
- Fixed or floating configurations available

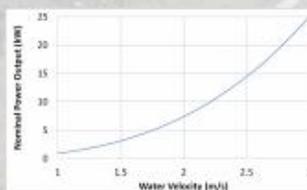
#### Robust

- Corrosion protection
- Complete metal construction
- Long maintenance intervals

Characteristics	ENC-025L
Maximum Power Output	25 kW
Nominal Water Velocity at Max Power	2.4 m/s
Rotor speed at Max Power	20 RPM
Overall System Mass	3000 kg
Overall System Height	5.4 m
Rotor Diameter	4.8 m
Rotor Height	2.4 m
Min. Water Depth – Fixed	3.8 m
Min Water Depth – Floating	4.3 m
Number of Blades	4
Generator Output	3 $\phi$ , 0–300 V



#### Power Curve





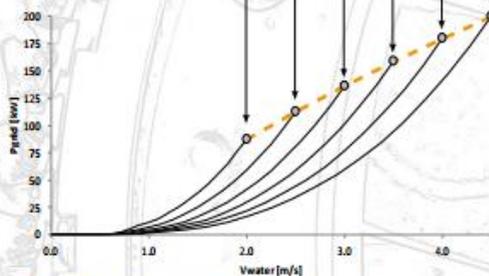
## LAMPIRAN C

### Spesifikasi *Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine*

**Tocado T200**

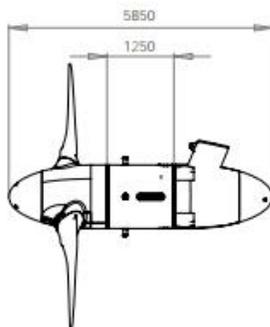
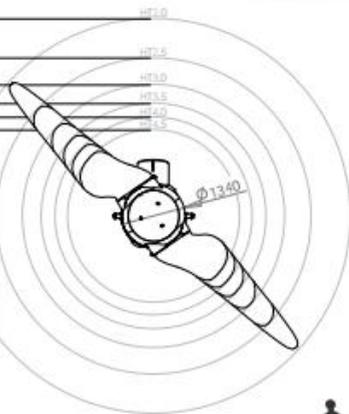
#### Operating data

Rated water velocity [m/s]	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
Blade D [m]	9.0	7.3	6.3	5.5	4.9	4.5
Swept area [m <sup>2</sup> ]	63.7	42.4	30.7	23.6	19.0	15.8
Rated grid power [kW]	87	112	136	159	180	200
Rated revs [rpm]	22	27	32	37	41	45
Cut-in water speed [m/s]	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Cut-out water speed [m/s]	2.6	3.8	4.5	5.3	6.0	6.8
Survival water speed [m/s]	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0



#### Nacelle dimensions

Diameter [m]	1.34					
Length (nose-tail) [m]	5.85					
Total weight (dry) [ton]	13.5	13.3	13.3	13.2	13.1	13.1
Foundation mount	Transition piece, welding sock					





## BIODATA PENULIS



Nama penulis adalah Luthfa Syabania Nuari, biasa dipanggil Luthfa, lahir di Gunungkidul pada 6 Januari 1996. Penulis adalah anak kedua dari pasangan Sobari dan Nur Hariyani. Penulis belajar di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Bidang minat yang menjadi fokus penulis yaitu Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Pada bulan Juni 2018 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Karakteristik Aliran Dinding Dan Fluktuasi Akibat Pemasangan Turbin Hidrokinetik Pada Aliran Kanal Terbuka”. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika selama dua periode, yaitu 2015-2016 sebagai staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa dan 2016-2017 sebagai Wakil Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa serta menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Energy Dan Pengkondisian Lingkungan pada tahun 2016-2018. Pada bulan Juli-Agustus 2017 penulis melakukan intership program di divisi *Engineering*, departemen *Control and Instrumentation*, PT Inti Kaya Persada Tehnik dengan topik Pembuatan Loop Diagram Pada *Steam Cracker Complex (SCC)* Rapid Project Unit 2500 Plant. Selain tugas akhir, perkuliahan tahun ke-empat penulis diisi dengan menjadi guru les privat untuk anak SD. Pembaca yang ingin berdiskusi dengan penulis, dapat menghubungi melalui e-mail : [luthfa06syabania@gmail.com](mailto:luthfa06syabania@gmail.com)

